Lane Medical L

Aus der Universitäts-Frauenklinik Göttingen (Röntgenabteilung)
(Direktor: Prof. Dr. H. Martius).

STANFORD 1929

Zur medizinischen Anwendung der Kathodenstrahlröhre

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Georg August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Ernst Witte
aus Ahlen in Westf.

Tag der mündlichen Prüfung: 30. Januar 1929

Berlin 1929
Druck von L. Schumacher, N 4

Referent: Prof. Dr. Dr. h. c. R. Pohl.

Sonderdruck aus „Strahlentherapie“ 1929, Bd. 31, H. 3.
(Verlag von Urban & Schwarzenberg, Berlin und Wien.)

INHALTSVERZEICHNIS.

A. Einleitung.
B. Ausführung.
I. Physikalischer Teil.
1. Allgemeine Erklärungen und Vorversuche zur Physik der Kathodenstrahlenröhre.
2. Messung der Röntgenstrahlung unseres Rohres.
3. Messung der Kathodenstrahlung unseres Rohres.
4. Die magnetische Trennung von Kathoden- und Röntgenstrahlen.
5. Kurze Ableitung der benutzten mathematischen Formeln.
II. Biologischer Teil.
1. Kurze Beshreibung der Versuchsergebnisse früherer Autoren.
2. Eigene Versuche.
a) Versuche mit Bakterien.
b) Versuche an Pflanzen.
c) Versuche an gesunden Tieren.
α) an Meerschweinchen,
β) an Fröschen.
d) Versuche an entzündlichen Geweben.
e) Untersuchungen über lokale und allgemeine Schädigung der Gewebe durch Kathodenstrahlung.
C. Schluß: Zusammenfassung und Ausblick.

A. Einleitung.

Seit den grundlegenden Untersuchungen von Pauli und Hartmann, sowie von v. Redwitz und v. Angerer, sind therapeutisch zum ersten Mal die Strahlungen der Lenardröhren von Baensch und Finsterbusch am Menschen mit ausgezeichnetem Erfolg erprobt worden. Man beabsichtigte dabei in erster Linie, die Wirkungen der Kathodenstrahlen auf lebendes Gewebe zu untersuchen, hatte dabei aber weitgehend vernachlässigt, daß von derartigen Röhren auch große Mengen Röntgenlicht ausgesandt werden. Da uns die angeblichen Wirkungen der Kathodenstrahlen etwas problematisch erschienen, so versuchten wir zunächst, durch eine Anzahl physikalischer Messungen

[1] Aus drucktechnischen Gründen beigefügte Parallelarbeit des Herrn Dr. med. W. Schaefer (Univ. Frauenklinik, Göttingen.)

uns Klarheit über die Kathoden- und Röntgenstrahlung derartiger Röhren zu schaffen, soweit das mit unseren Mitteln möglich war und zur Deutung der biologischen Effekte notwendig erschien. Da diese physikalischen Messungen einen ziemlich breiten Raum in unserer Arbeit beanspruchen, seien zum leichteren Verständnis einige Erläuterungen über die Wirkungsweise des Rohres vorangestellt.

B. Ausführung.

I. Physikalischer Teil.

1. Allgemeine Erklärungen und Vorversuche.

Aus der Röntgentechnik ist bekannt, daß aus der Oberfläche eines weißglühenden Drahtes, im Hochvakuum die Atome der negativen Elektrizität, die sogenannten Elektronen herausdampfen. Sich selbst überlassen bilden diese Elektronen ein unsichtbares, sich langsam ausbreitendes Wölkchen um den Glühdraht. Verbindet man diesen jedoch mit dem negativen Pol einer Stromquelle und bringt den positiven Pol in die Nähe, wie das z. B. im Röntgenrohr geschieht, so zieht der positive Pol die negativen Elektronen an, wie der geriebene, positiv elektrische Glasstab das vorher mit Hartgummielektrizität negativ geladene Hollundermarkkügelchen. Sind die angelegten Spannungen hoch, so sind die Anziehungskräfte groß, und da das Elektron sehr leicht ist, so rast es mit ungeheuerer Geschwindigkeit auf den positiven Pol zu. Bei 100000 Volt ist diese Geschwindigkeit etwa 200000 km pro/sec. Die Elektronen sind rund 2000mal leichter als ein Wasserstoffatom und dabei außerordentlich klein, denn sie sind ja selber erst Bausteine der Atome. Das Atomgefüge materieller Körper bietet daher einem fliegenden Elektron etwa das gleiche Hindernis wie eine Anzahl willkürlich hintereinander gestellter, weitmaschiger Drahtnetze einem Gewehrgeschoß. Stehen nicht zuviel Netze im Wege, so bleiben Lücken, durch die das Geschoß hindurch kann. Entsprechend fliegen die Elektronen durch dünne Folien hindurch. Wie natürlich von einem Geschoßhagel ein Teil durch Drahtnetze abgefangen wird, so ein Teil der Elektronen vom Atomgefüge der Folien. Ebenso wie Geschosse, entfalten auch die Elektronen beim Anprall zerstörende Wirkungen. Besteht der positive Pol, auf den die Elektronen zufliegen, aus einem massiven Metallstück wie im Röntgenrohr, so bleiben sie zum größten Teil im Metall stecken, und es entsteht neben sehr viel Wärme die Röntgenstrahlung. Nimmt man als positiven Pol ein Metallrohr, dessen Längsachse auf den Glühdraht gerichtet ist, so fliegt ein Teil der Elektronen durch das Rohr hindurch, anstatt anzuprallen. Hiervon ist bei unseren Röhren Gebrauch gemacht (siehe Bild 1).

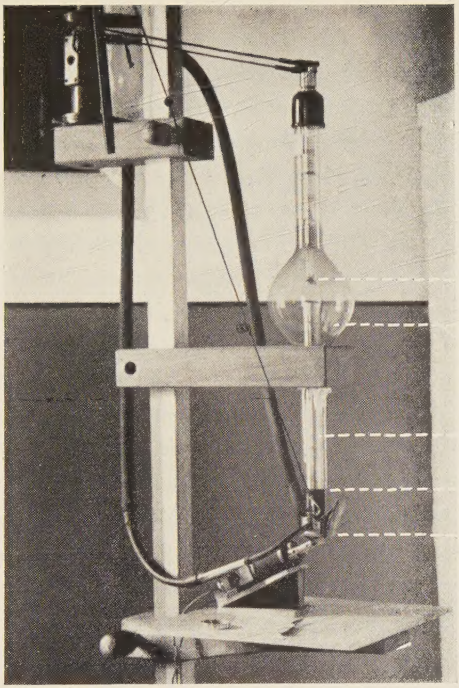

Bild 1.

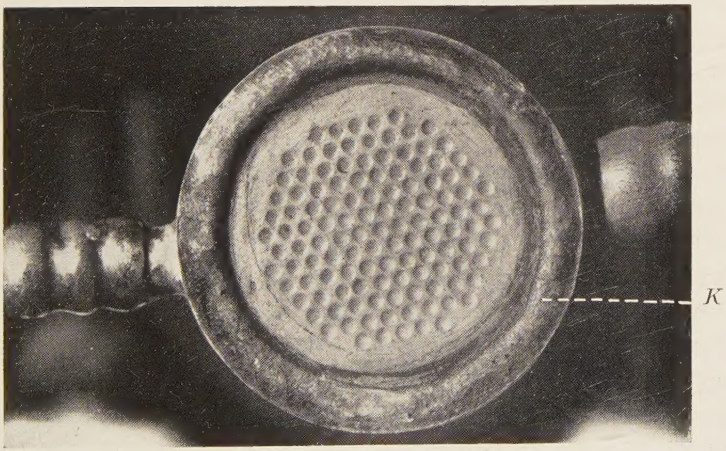

Bild 2.

G ist ein evakuiertes Glasgefäß, wie bei Röntgenröhren. In D ist ein Glühdraht, der die Elektronen liefert. M ist das Metallrohr, welches als positiver Pol dient. Bei S ist es mit dem Glas luftdicht verschmolzen und bei N mit einer Nickelfolie verschlossen, durch welche die Elektronen in die Außenluft eintreten. Als Stütze für die Folie (s. a. Bild 2) liegt hinter ihr eine vielfach durchbohrte Metallplatte, welche außerdem durch einen Kanal bei K von fließendem Wasser gekühlt wird. Man bezeichnet die Folie nach ihrem Erfinder auch wohl als Lenardfenster.

Betrieben werden die Röhren augenblicklich mit 2—3 mA. bei 150—170 kV. Maximalspannung. Das entspricht einer Energie von rund $^1/_2$ PS. Diese setzt sich im Rohrinnern größtenteils in kinetische Energie fliegender Elektronen um. Bei deren Abbremsung müßte eine Wärmeenergie von rund 70 cal. pro/sec. entstehen, d. h. 1 ccm Wasser würde durch die Strahlen in wenigen Sekunden zum Sieden erhitzt, Papier würde fast momentan entflammt werden u. dgl. Von derartigen Wirkungen der Strahlen außerhalb des Rohres ist aber praktisch keine Rede. Wir bestrahlten Papier, Watte, Cellon unmittelbar vor der Folie. Es trat nicht einmal Bräunung ein. Am Luftthermometer zeigte sich ein winziger Ausschlag, der aber auch durch die Wärmestrahlung der Folie erklärt werden kann. Diese erhitzt sich in der Tat ebenso wie der ganze Kopf des Rohres außerordentlich rasch. Daraus schlossen wir, daß der weitaus größte Teil der Elektronen im Rohrinnern abgebremst wird. Ist das aber der Fall, so müssen notwendig große Röntgenenergien entstehen, insbesondere auch an der Folie selber, die ja gewissermaßen zur Antikathode wird und gleichzeitig für die Strahlung als Nickelfilter von nur 0,03 mm Dicke wirkt. Von einem derart dünnen Filter werden härtere Röntgenstrahlen fast restlos, aber auch weiche Strahlen in großer Menge durchgelassen. Außerdem ist zu bedenken, daß die Folie völlig von Kathodenstrahlen durchsetzt wird, von denen eine gewisse Menge in allen möglichen Tiefen stecken bleibt und Röntgenlicht erzeugt, welches dann nicht mehr die ganze Dicke der Folie zu durchlaufen hat, teilweise sogar erst an ihrer Außenfläche entsteht und daher völlig ungefiltert in die Luft eintritt. Man erhält dabei vielleicht eine Strahlung, die den von Bucky angewandten Grenzstrahlen gleich oder ähnlich ist. Mag nun immerhin der größte Teil der Kathodenstrahlen im Rohr und der Folie absorbiert werden, so gelangt doch eine nicht unbeträchtliche Menge in die Außenluft. Hier stoßen die fliegenden Elektronen mit den Luftmolekülen zusammen, welche dadurch ionisiert und zum bläulichen Leuchten angeregt werden. Selbstverständlich erleiden die Elektronen hierbei Verluste an kinetischer Energie und werden von ihrer Bahn abgelenkt. Nach etlichen Zu-

sammenstößen ist die Energie verbraucht, und zwar desto eher, je kleiner die Anfangsgeschwindigkeit der Elektronen war, die von der kV.-Zahl abhängt. In einer gewissen Entfernung von der Folie wird das bei allen Elektronen der Fall sein. Es gibt also praktisch eine maximale Reichweite der Kathodenstrahlen. Das Quadratgesetz läßt sich zur Berechnung der Strahlungsintensität in verschiedenen Entfernungen von der Folie nicht anwenden wegen der starken Verluste durch Zusammenstöße und wegen zu starker Streustrahlung. Verringert man die Zahl der Zusammenstöße, indem man die Luft verdünnt, so läßt sich die Reichweite bedeutend erhöhen und die Streuung vermindern. Auch durch Anwendung leichterer Gase, etwa Wasserstoff, erhält man starke Vergrößerung der Reichweite. Dergleichen könnte später in der Therapie unter Umständen nützlich sein. Wir machten bisher aber keinen Gebrauch davon. Bild 3 zeigt den Weg eines schmalen Kathodenstrahlbündels in Luft, wie er auf einem Leuchtschirm erscheint. Man sieht, daß der anfangs scharf begrenzte Strahl immer diffuser wird und schließlich aufhört. Bemerkt sei noch, daß es mit Hilfe eines Ketonleuchtschirms gelingt, die Kathodenstrahlen allein sichtbar zu machen.

Bild 3.
Kathodenstrahlen in Luft.

2. Messung der Röntgenstrahlung[1]).

Da wir nach den beschriebenen Vorversuchen und Überlegungen große Röntgenenergie vermuteten, schien es uns ratsam, zunächst einmal die Röntgenstrahlung des Rohres zu messen. Wir benutzten dazu das Dionometer nach Wulf mit Graphitfingerhutkammer von 0,5 mm Wandstärke. Die Eichung dieses Instruments galt für eine Strahlung von 100 kV., die durch 2 mm Al gefiltert war. Für weichere Strahlungen sind derartige Instrumente unempfindlicher. Aus diesem Grunde sind die von uns angegebenen R-Zahlen also eine Art Mindestwerte. Die Richtigkeit der mit dem Instrument gemessenen „Relativwerte“ ist nicht zu bezweifeln, solange man mit gleichbleibender Härte der Strahlung rechnen kann, da alsdann auch die Instrumentempfindlichkeit konstant bleibt.

In Tabelle I zeigt die mit R/sec überschriebene Spalte die von uns gemessenen Werte der Röntgenstrahlung in verschiedenen Abständen vom Lenardfenster. Die dritte Spalte zeigt die Energien für die näm-

[1]) Alle unsere Messungen erfolgten, soweit nicht besonders darauf hingewiesen wurde, bei 150 kV. max. Radio-Transverter von Koch & Sterzel.

Tabelle I.

Abst.-Rohr Graphitk. cm	R/sec gemessen	Quadratgesetz berechnet	Berechnet nach $J_X = \frac{J_1}{X^2} \cdot e^{-\alpha X}$
20	6,16	2,60	6,14
25	3.53	1,67	3,53
30	2,25	1.16	2,20
35	1,26	0,85	1,45
40	0,98	0,65	1,00
45	0,71	0 52	0,71
50	0,52	0,42	0,51
55	0,40	0,35	0,38
60	0,29	0,29	0,29

lichen Abstände, wie sie sich nach dem Quadratgesetz errechnen, wenn man für 60 cm Abstand den gemessenen Wert 0,29 R als Grundlage der Rechnung annimmt. Wie man sieht, nehmen die tatsächlichen Energien weit stärker zu als die errechneten, was mit Absorption der Strahlung in Luft erklärbar sein dürfte. Um die gemessenen Werte in eine Formel zu fassen, muß man mithin das Quadratgesetz: $J_X^* = \frac{J_1}{J^2}$; mit dem Absorptionsgesetz: $E_X = E_0 \cdot e^{-\alpha X}$ kombinieren[1]). Das ergibt: $J_X = \frac{J_1}{X^2} \cdot e^{-\alpha X}$; wobei J_1 die Strahlungsintensität bei punktförmigem Fokus in 1 cm Fokusabstand wäre, wenn die Strahlung im Vakuum, also ohne Absorption verliefe. Aus der Messung sind eine Anzahl Werte für J_X, bei verschiedenen X-Werten bekannt. Aus je zwei Werten gewinnt man ein Gleichungspaar von der Art:

$$1.\quad J_{X_1} = \frac{J_1}{X_1^2} \cdot e^{-\alpha X_1}$$

$$2.\quad J_{X_2} = \frac{J_1}{X_2^2} \cdot e^{-\alpha X_2}$$

Daraus lassen sich die beiden Unbekannten J_1 und α wie folgt errechnen:

$$1.\quad J_1 = \frac{J_{X_1} \cdot X_1^2}{e^{-\alpha X_1}} = J_{X_1} \cdot X_1^2 \cdot e^{\alpha X_1}$$

$$2.\quad J_1 = \frac{J_{X_2} \cdot X_2^2}{e^{-\alpha X_2}} = J_{X_2} \cdot X_2^2 \cdot e^{\alpha X_2}$$

Gleichsetzung der rechten Seiten ergibt:

$$J_{X_1} \cdot X_1^2 \cdot e^{\alpha X_1} = J_{X_2} \cdot X_2^2 \cdot e^{\alpha X_2}$$

$$\frac{J_{X_1} \cdot X_1^2}{J_{X_2} \cdot X_2^2} = \frac{e^{\alpha X_2}}{e^{\alpha X_1}} = e^{\alpha X_2 - \alpha X_1} = e^{\alpha (X_2 - X_1)}$$

[1]) Ableitung siehe Anhang.

Die Auflösung dieser Exponentialgleichung erfolgt durch Logarithmieren. Es folgt mithin:

$$\log\left(\frac{J_{X_1}\cdot X_1^2}{J_{X_2}\cdot X_2^2}\right) = \alpha\,(X_2 - X_1)\cdot \log e$$

$$\frac{\log\left(\frac{J_{X_1}\cdot X_1^2}{J_{X_2}\cdot X_2^2}\right)}{(X_2 - X_1)\log e} = \alpha$$

Da $\log e = 0{,}4343$ ist, kann man auch schreiben:

$$\frac{\log\left(\frac{J_{X_1}\cdot X_1^2}{J_{X_2}\cdot X_2^2}\right)}{(X_2 - X_1)\cdot 0{,}4343} = \alpha$$

In dieser Gleichung sind links alle Werte durch Messung bekannt. Hat man daraus den Wert von „α“ errechnet, so kann man ihn in eine der Ausgangsgleichungen 1., 2. einsetzen und erhält dadurch J_1. Entnimmt man z. B. unserer Messung die Werte:

$$X_1 = 20\text{ cm};\quad J_{X_1} = 6{,}16\,\frac{R}{sek};$$

$$X_2 = 60\text{ cm};\quad J_{X_2} = 0{,}29\,\frac{R}{sek};$$

und setzt ein, so folgt:

$$\alpha = 0{,}0215$$

$$J_1 = 3780\,\frac{R}{sek}$$

Da ferner:

$$J_X = \frac{J_1}{X^2}\cdot e^{-\alpha X},$$

so folgt mit diesen Werten

$$J_X = \frac{3780}{X^2}\cdot e^{-0{,}0215\cdot X} = \frac{3780}{X^2\cdot e^{+0{,}0215\cdot X}}$$

Logarithmiert lautet die Gleichung:

$$\log J_X = \log 3780 - \log X^2 - X\cdot \log e^{+0{,}0215};$$

$$\log J_X = \log 3780 - \log X^2 - X\cdot 0{,}0215\cdot \log e;$$

$$\log J_X = \log 3780 - \log X^2 - X\cdot 0{,}00935$$

Aus der letzten Gleichung ist J_X für jedes X zu berechnen, solange der Fokus punktförmig angenommen werden darf. Die hiernach errechneten J_X-Werte findet man in der vierten Spalte der Tabelle I. Wie man sieht, herrscht gute Übereinstimmung zwischen errechneten und gemessenen Werten. Das bestätigt auch die graphische Dar-

stellung des Bildes 4. In dieser ist die Kurve errechnet, die eingetragenen Punkte sind die Meßergebnisse. Der Wert $\alpha = 0{,}0215$ dürfte

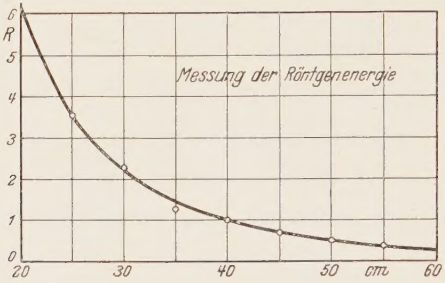

Bild 4.

daher wenig fehlerhaft sein. Die Dicke der Halbwertschicht errechnet sich daraus wie folgt:

$$J_X = J_0 \cdot e^{-\alpha X}$$

$J_X = \frac{J_0}{2}$ gesetzt gibt: $\frac{J_0}{2} = J_0 \cdot e^{-\alpha X}$

In diesem Fall ist X gleich der Halbwertschicht „H". Man kann daher schreiben:

$$\frac{J_0}{2} = J_0 \cdot e^{-\alpha H} = \frac{J_0}{e^{+\alpha H}}$$

oder:

$$e^{\alpha H} = 2;$$

$$\alpha \cdot H \cdot \log e = \log 2;$$

$$\alpha H = \frac{\log 2}{\log e};$$

$$H = \frac{\log 2}{\alpha \log e};$$

$$H = \frac{0{,}301}{0{,}0215 \cdot 0{,}4343}$$

$$H = 32{,}2 \text{ cm}$$

Das entspricht einer ganz weichen Röntgenstrahlung von 7—8 kV. Zum gleichen Schluß führt die Tatsache, daß eine Postkarte als Filter die Strahlung auf 75% erniedrigte. Damit werden unsere anfangs ausgesprochenen Vermutungen bestätigt. — Bezüglich der von uns errechneten Halbwertschicht ist noch zu bemerken, daß es sich hier natürlich um einen Mittelwert handelt. Das gleiche gilt für den Wert des Absorptionskoeffizienten „α". Da sich unsere Meßergebnisse (Tabelle I) sehr genau durch eine Formel wiedergeben ließen, in welcher der Absorptionskoeffizient „α" als Konstante behandelt wird, ist anzunehmen, daß die mittlere Härte der Strahlung für alle Meßabstände praktisch konstant blieb und daher auch, daß die Empfindlichkeit unseres Iono-

neters konstant war. Das spricht umgekehrt wieder für die Brauchbarkeit der Relativwerte unserer Zahlen.

Wegen der großen Röntgenenergien war uns eine Messung der Strahlung leider nur bis zu einer Annäherung von 20 cm zum Lenardfenster möglich. Schon hier hatten wir Ablaufzeiten des Ionometers von nur 2 bis 3 Sekunden. In Rohrnähe, also gerade dort, wo der normale Arbeitsabstand für die Kathodenstrahlung liegt, waren wir auf Rechnung angewiesen. Unangenehm war, daß in Rohrnähe das Fenster nicht mehr als punktförmiger Strahler betrachtet werden kann, wodurch das bequeme Quadratgesetz unbrauchbar wird. Wir mußten uns leider also komplizierterer Formeln bedienen.

Im nichtabsorbierenden Medium gilt für die Intensität der Strahlung im senkrechten Abstande „X" vom Mittelpunkt einer Kreisfläche (Lenardfenster) mit dem Radius „r":

$$J_X^* = K \cdot \log\left(\frac{X^2 + r^2}{X^2}\right)^{1});$$

„K" ist eine für alle X konstante Größe, deren Wert man durch Einsetzen eines bekannten „J_X" in obige Gleichung berechnet. Wir verschachten eine Nachprüfung der obigen Formel, indem wir ein 0,5 mm dickes Cu-Filter vor unser Fenster setzten, worauf wir bis in 16 mm Abstand vom Fenster messen konnten und gleichzeitig eine Strahlung erhielten, deren Absorption in Luft zu vernachlässigen war. Das Ergebnis zeigt die Tabelle II, 2. Spalte. Spalte 3 gibt die aus unserer Formel errechneten Werte, Spalte 4 die Werte, welche sich nach dem Quadratgesetz ergeben.

Tabelle II.

Abstand cm	R/sec gemessen	Berechnet nach $J_X^* = K \cdot \log\left(\frac{X^2 + r^2}{X^2}\right)$	Berechnet nach Quadratgesetz
1,0	—	7,3	12,35
1,6	3,4	3,74	4.85
2,5	1,52	1,76	1,98
5,0	0,44	0,485	0,495
10,0	0,143	0,123	0,123
15,0	0,065	0,056	0,055
20,0	—	0,0308	0.0308
30,0	—	0,0139	0,0139
40,0	—	0,0077	0,0077

Man sieht, daß die Werte nach obiger Formel ziemliche Übereinstimmung mit den Meßwerten zeigen (größere Genauigkeit war bei der Größe unserer Fingerhutkammer und der Rohrnähe nicht zu erwarten), während die aus dem Quadratgesetz errechneten Werte in Fensternähe

[1]) Siehe Anhang.

größer ausfallen. In größeren Abständen liefert obige Formel und das Quadratgesetz praktisch übereinstimmende Werte. Das möge die graphische Darstellung des Bildes 5 noch mehr verdeutlichen. — Obige

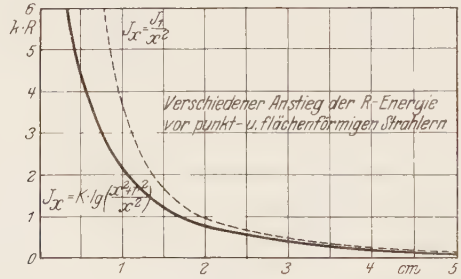

Bild 5.

Formel gilt, solange die Absorption in Luft zu vernachlässigen ist. Das ist bei unserer ungefilterten Strahlung nicht mehr der Fall. Ähnlich wie beim Quadratgesetz die Absorption dadurch in Rechnung gezogen wurde, daß man den Faktor $e^{-\alpha X}$ hinzufügte, kann das bei der genannten Formel geschehen. Diese lautet alsdann:

$$J_X = K \cdot e^{-\alpha X} \cdot \log\left(\frac{X^2 + r^2}{X^2}\right)$$

Das ist bei dieser Formel zwar nicht mehr mathematisch exakt (die wirklichen Werte sind etwas kleiner), aber der maximale Fehler beträgt im vorliegenden Fall weniger als 3%, und zwar unmittelbar am Fenster. In 2 cm Abstand ist er bereits kleiner als 1% und sinkt alsdann weiter mit steigendem Abstand[1]). Vorausgesetzt ist bei der Formel, daß die Strahlung eines Punktes der Folie keine Richtungsabhängigkeit besitzt, was bis auf ganz kleine Abstände erlaubt sein dürfte[2]). Wir bestimmten die Konstante „K" aus den Werten der Tabelle I zu $K = 5203$. „α" ist natürlich identisch mit dem früheren Wert $\alpha = 0{,}0215$: $r = 1{,}3$ cm (Radius des strahlenden Teiles der Folie). Mit diesen Werten lautet die Formel:

$$J_X = 5203 \cdot e^{-0.0215 \cdot X} \cdot \log\left(\frac{X^2 + 1{,}69}{X^2}\right);$$

$$J_X = \frac{5203}{e^{+0.0215 \cdot X}} \cdot \log\left(\frac{X^2 + 1{,}69}{X^2}\right)$$

Die Formel erlaubte eine fast beliebige Erweiterung der Tabelle I. Das Ergebnis zeigt Tabelle IIa in der 2. Spalte. Die 3. Spalte gibt zum Vergleich nochmals die entsprechenden Zahlen der 2. Spalte von

[1]) Siehe Anhang.

[2]) Vgl. die Messungen an Röntgen-Antikathoden.

abelle I. Die graphische Darstellung des Bildes 6 zeigt die Werte der . Spalte von Tabelle IIa in zwei verschiedenen Maßstäben. Die rechte urve stellt den flachen Teil der linken Kurve in 10facher Vergrößerung dar.

Tabelle IIa.

Abstand cm	R/sec berechnet	R/sec gemessen	Abstand cm	R/sec berechnet	R/sec gemessen
0,5	4570.00	—	10	30.50	—
1	2190.00	—	15	12.25	—
2	762.00	—	20	6,15	6,16
3	365,00	—	30	2,24	2,25
4	207,00	—	40	1,00	0.98
5	133 50	—	50	0,52	0,52
7	66,00	—	60	0,29	0,29

Wie man sieht, ist auch hier ie Übereinstimmung mit den eßergebnissen fast absolut enau.

Welche gesicherten Aus-gen lassen sich nunmehr über ie Röntgenstrahlung unseres ohres machen?

1. Die Gesamtstrahlung es Rohres, wie sie in unserem nometer zur Messung kommt, igt mit steigendem Abstand om Lenardfenster einen rela-ven Energieverlauf gemäß den abellen I und IIa sowie der raphischen Darstellung der lder 4 und 6.

2. Für die wie unter 1. efinierte Strahlung beträgt die albwertschicht in Luft rund 2 cm. Das entspricht in anz roher Annäherung etwa ,4 mm Wasser. Eine Postkarte chwächte die Strahlung auf 5%. Aus diesen Tatsachen und aus der Art, wie die Strahlung entsteht lünnes Fenster, ganz von Kathodenstrahlen durchsetzt), ist auf einen sehr ohen Prozentsatz weicher Strahlung zu schließen.

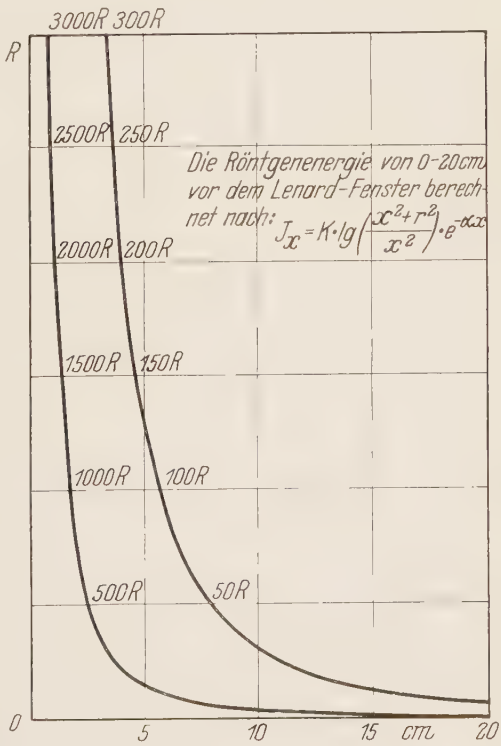

Bild 6.

3. Die Messung mit Cu-Filter zeigt ein, absolut genommen, durchaus nennenswertes Quantum harter Strahlung. — Aus 2. und 3. folgt jedoch, daß die ungefilterte Strahlung des Rohres wesentlich Oberflächenwirkung haben wird. Bei längeren Bestrahlungszeiten dürfte aber auch eine gewisse Tiefenwirkung nicht ganz zu vernachlässigen sein.

4. Die von uns angegebenen R-Zahlen für die ungefilterte Strahlung stellen Minimalwerte dar, weil die Ionometerempfindlichkeit mit abnehmender Härte der Strahlung sinkt. Man hat also mit noch größeren Energien als angegeben zu rechnen. Aber selbst, wenn man unsere Minimalwerte annimmt, sind die Röntgenenergien äußerst hoch. Sogar in 10 cm Abstand, wo nebenbei bemerkt die Kathodenstrahlung bereits nahezu verschwindet, erhält man pro Minute fast 2000 R.

Auf Grund obiger Ergebnisse schien es uns bei Versuchen, welche die Wirkungsweise der Kathodenstrahlung klären sollten, nicht erlaubt, die Röntgenstrahlung einfach zu vernachlässigen. Wir stehen damit im Gegensatz besonders zu Baensch und Finsterbusch, welche schreiben: „Allerdings scheint dieser Röntgenzusatz in unmittelbarer Nähe des Fensters noch nicht sehr bedeutend. Er nimmt scheinbar in der Entfernung durch die Fülle der Streu- und Sekundärstrahlen zu". Zwar gilt für die unmittelbare Nähe des Fensters nicht mehr das Quadratgesetz für die Zunahme der Strahlung, sondern es findet tatsächlich, wie unsere Tabellen I und Ia sowie besonders die graphische Darstellung Bild 5 zeigen, ein langsameres Ansteigen statt, aber der Röntgenzusatz sei dort „nicht sehr bedeutend", ist angesichts unserer Zahlen doch wohl zuviel gesagt. Allerdings, unmittelbar vor dem Lenardfenster haben wir unsere ungefilterte Strahlung nicht gemessen. Wir sehen jedoch nicht ein, wie eine Streu- und Sekundärstrahlung entstehen könnte, die in unmittelbarer Nähe des Fensters weniger wirksam wäre als in größerem Abstand. Außerdem zeigt unsere Messung von 20—60 cm Abstand eine derart strenge Gesetzmäßigkeit, daß nicht zu verstehen ist, warum darin „plötzlich" eine Wandlung eintreten soll.

Wesentlich anders liegen die Dinge, wenn man die relativen Energien von Röntgen- und Kathodenstrahlen vergleicht. Da kann man allerdings sagen, daß der Röntgenzusatz in Fensternähe eine geringere Rolle spiele als in größerer Entfernung, aber nicht, weil die Röntgenenergie durch Streustrahlung oder dergleichen mit dem Abstand steigt, sondern weil die Kathodenstrahlenenergie viel schneller abnimmt als die Röntgenenergie und schon sehr bald überhaupt Null wird, so daß die ganze biologische Strahlenwirkung des Rohres mehr und mehr in reine Röntgenwirkung übergeht.

3. Messung der Kathodenstrahlung.

Bezüglich der Kathodenstrahlung interessierten uns drei Fragen:

1. In welcher Weise nimmt die Kathodenstrahlung ab, wenn man sich vom Fenster entfernt?
2. Welche Durchdringungsfähigkeit besitzt unsere Strahlung?
3. Entstehen beim Auftreffen der Kathodenstrahlen auf die Haut nennenswerte Röntgenenergien?

Zur Messung bot die ionisierende Wirkung der Kathodenstrahlen in Luft das bequemste Mittel. Als Ionisationskammer wählten wir einen Bleikasten[1]) mit 5 mm Wandstärke und solcher Größe, daß praktisch keine Strahlen die Innenwand treffen, mithin die Energie fast restlos zur Ionisation verbraucht wird. Im Bilde 7 ist K dieser Kasten mit abgenommenem Deckel. In den Kasten ragt isoliert von ihm ein Metallstab hinein, welcher mit einem Elektrometer verbunden ist und mit diesem zusammen durch die kleine Elektrisiermaschine R aufgeladen werden kann. Zwischen Bleikasten und Metallstab ist außerdem noch ein Luftkondensator von etwa 1000 cm Kapazität eingeschaltet, um die Empfindlichkeit des Instrumentes zu vermindern (Bild 8 auf dem Deckel). Die ionisierende Wirkung der Kathodenstrahlung ist nämlich derart groß, daß man sonst keine gut meßbaren Ablaufzeiten des Elektrometers erhält. Die Strahlung tritt durch eine Öffnung von 1 cm² Fläche in den Kasten ein. Vorsteckbare Lochblenden (L, Bild 8) erlauben, diese Öffnung und mit ihr die eintretende Strahlenmenge beliebig zu verkleinern. Für diese Blenden wählten wir ein 1 mm dickes Bleiblech mit entsprechenden Bohrungen. Dieses Blech hält die Kathodenstrahlen völlig zurück, genügt also für unseren Zweck. Es zeigte sich, daß wir die Blendenöffnung auf Nadelstichgröße verkleinern mußten, um meßbare Ablaufzeiten des Elektrometers zu erhalten wegen der ungeheueren Ionisationswirkung der Kathodenstrahlen. Da eine derart kleine Öffnung in 1 mm Blei nicht mehr als Loch, sondern als Kanal wirkt, bohrten wir in das Blei eine 1 mm-Öffnung, die mit doppeltem Karton (undurchlässig für Kathodenstrahlen) verklebt, und in den mit einer Stecknadel ein feines Loch gestochen wurde. Wir maßen mit der Vorrichtung einfach in Skalenteilen[2]). Dies Verfahren genügte, um verschiedene

[1]) Das Instrument verdanken wir Herrn Priv.-Doz. Dr. Küstner.

[2]) Von einer Eichung des Instruments in absolutem Energiemaß nach der Art, wie sie z. B. Pauli ausgeführt hat, sahen wir ab, da dieselbe nach unserer Meinung doch zu unsicher ist. In Paulis Berechnung der auftretenden Kathodenenergie stecken drei mehr oder weniger willkürliche Annahmen über eintretende Energieverluste. Besonders die Annahme, daß nur 50% der Kathodenstrahlen im Rohr absorbiert würden, ist ohne genaue Kenntnis der Spannungskurve des Trans-

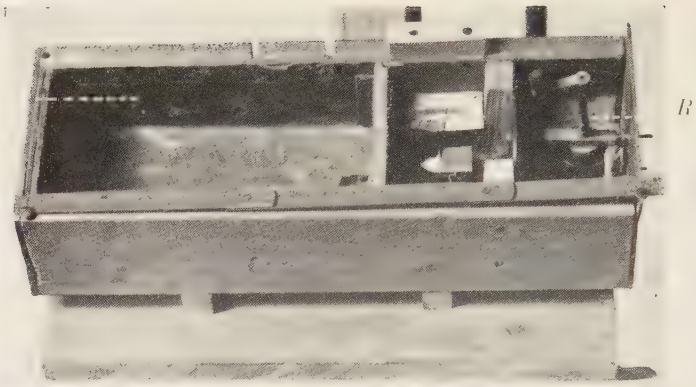

Bild 7.

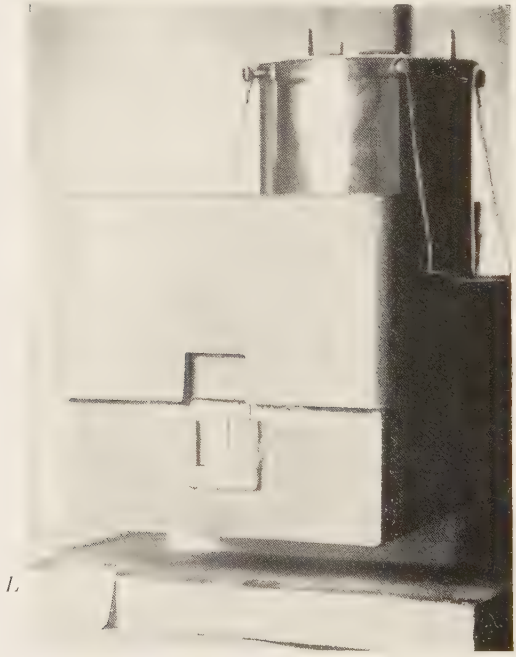

Bild 8.

Dosen der Strahlung zahlenmäßig zu vergleichen. Natürlich spricht unsere Vorrichtung auch auf Röntgenstrahlung an. Das wurde bei den

formators und der Foliendicke sehr gewagt und wenigstens in unserem Falle bestimmt falsch. Eine Energiemessung mittels Thermoelement, durch welche Pauli seine Berechnung zu stützen versuchte, unterließen wir, da die Wärmestrahlung der Folie das Ergebnis völlig unsicher macht.

essungen berücksichtigt. Um nun den Abfall der Strahlung mit der ntfernung zu messen, brachten wir die Öffnung der Blende in ver-hiedene Abstände vom Fenster und bestimmten jedesmal die Zeit, in elcher das Elektrometer um die gleichwertigen obersten Skalenteile rückging. Es erfolgten jeweils zwei Messungen, einmal Röntgen- us Kathodenstrahlen zusammen, dann Röntgenstrahlen allein, indem e Kathodenstrahlung durch ein Kartonblatt fortgeblendet wurde. Die fferenz beider Messungen lieferte den Wert der Kathodenstrahlung. eses Verfahren ist nicht ganz genau, da beim Einschalten des Karton-attes in den Strahlengang ein Teil der weichen Röntgenstrahlen mit-sorbiert wird. Gleichzeitig entstehen aber beim Aufprallen der athodenstrahlen auf den Karton neue Röntgenstrahlen, wie wir nachher gen werden, die den Verlust in gewissem Grade ausgleichen.

Das Meßergebnis zeigt Tabelle III, sowie die graphische Darstellung ld 9.

Tabelle III.

Abstand cm	K + R SK./sec	R SK./sec	K SK./sec
2	7,2	1,2	6,0
4	3.4	0,8	2,6
6	1,1	0,45	0.65
7	0,85	0,2	0,65
8,5	0.47	0,15	0.32
10	0,3	0,13	0,17
13	0,17	0,1	0,07

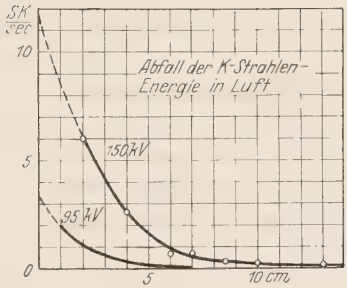

Bild 9.

Um eine Anschauung von der Spannungsabhängigkeit der Kathoden-tensität zu erhalten, führten wir eine zweite Messung mit 95 kV. aus. as Ergebnis zeigt Tabelle IIIa und die graphische Darstellung Bild 9.

Tabelle IIIa.

Abstand cm	K + R SK./sec	R SK /sec	K SK./sec
1	1,85	1	0,85
2	1,05	0,56	0,49
3 } 4 }	nicht meßbar.		
5	aus Helligkeit eines Ketonschirms geschätzt = 0,3	0,13	0,17

Wie man sieht, ist der Energieverlust gewaltig, obwohl die Span-ung nur auf $^2/_3$ erniedrigt wurde.

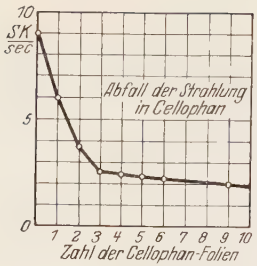

Bild 10.

Welche Durchdringungsfähigkeit besitzt nun die Kathodenstrahlung[1])? — Diese Frage prüften wir für Cellophan und Aluminium, indem wir dünne Folien dieses Stoffes (Cellophanfolie = 0,025 mm, Aluminiumfolie = 0,03 mm) in verschiedener Zahl in den Strahlengang einschalteten. Der Abstand „Lenardfenster-Ionometerblender" betrug 20 mm. Die Ergebnisse zeigen die Tabellen IV, V und VI. Zur besseren Übersicht bringen wir auch hier wieder die graphische Darstellung der Werte von Tabelle IV, Bild 10.

Tabelle IV.

Abstand: 20 mm.

Anzahl d. C.-Folien	R + K SK./sec
0	9
1	6
2	3,8
3	2,6
4	2,5
5	2,4
6	2.3
9	2,0

Tabelle V.

Abstand 20 mm.

Anzahl d. Al.-Folien	R + K SK./sec
0	8,6
1	2,6
2	1,5
3	1,2
4	1,1
5	1,1
6	1,1
10	1,0

Tabelle VI.

Abstand 25 mm.

Anzahl d. C.-Folien	R + K SK./sec
0	6,3
1	3,2
2	2
3	1,5
4	1,2
5	1,2
8	1,0
12	1,0
30	0,8

Tabelle VII.

Abstand 25 mm.

Anzahl d. Kartonbl.	R + K SK./sec
2	1
3	0,8
7	0,7
2 mm Pappe	0,6
4 „ „	0,5

Die Kartonbl. waren 0,15 mm dick.

Wie man sieht, sinkt mit jeder neuen Folie die Strahlung zunächst immer auf ungefähr $^2/_3$ des vorgehenden Wertes. Das ändert sich ganz plötzlich mit der 3. oder 4. Folie (s. besonders die graphische Darstellung Bild 10), von der ab die Strahlung nur noch um etwa

[1]) Berechnung hätte genaue Kenntnis der Foliendicke und der Spannungskurve des Transformators erfordert, die wir nicht besaßen.

20 pro Folie sinkt. Diese Tatsache kann nach unserer Ansicht nur so erklärt werden, daß von der 3. (4.) Folie ab die stark absorbierbare Kathodenstrahlung verbraucht ist und lediglich Röntgenstrahlung übrig bleibt. Vier Folien entsprechen einer Cellophandicke[1]) von 3(4)mal 0,025 = 0,075 (0,1) mm. Darnach scheint es ausgeschlossen, daß die Kathodenstrahlung unseres Rohres irgendwelche „unmittelbare" Tiefenwirkung erzeugt.

Unsere letzte Frage war die, ob beim Auftreffen der Kathodenstrahlen auf die Haut nennenswerte Röntgenenergien entstehen.

Um das zu entscheiden, brachten wir zunächst 3 Cellophanfolien unter der Blendenöffnung im Kasteninnern unseres Ionometers an und maßen den Ablauf. Es ergaben sich 5 Skalenteile in 5 Sekunden. Darauf brachten wir noch mal 4 Folien außerhalb des Kastens, etwa 5 mm vor der Blende an. Obgleich jetzt 7 Folien im Strahlengang waren, ergab sich ein größerer Ablauf als vorher, nämlich 6 Skalenteile in 5 Sekunden. Wir haben den Versuch mehrfach mit dem gleichen Ergebnis wiederholt. Die einzige Erklärungsmöglichkeit scheint uns zu sein, daß die Folien im Kasteninnern etwa 5 mm weiter vom Lenardfenster entfernt sind als die Folien außen. Innerhalb dieser 5 mm erfolgt der Energietransport einmal mit Röntgenstrahlen und einmal mit Kathodenstrahlen. Der Transport mit Kathodenstrahlen bringt größere Verluste mit sich als der mit Röntgenstrahlen.

Späterhin erbrachten wir auch den unmittelbaren Nachweis und eine ungefähre Messung dieser Röntgenstrahlen. Es sei hier vorweggenommen, daß es uns mit Hilfe eines Magneten gelang, die Kathodenstrahlen von der primären Röntgenstrahlung zu trennen. Ließen wir nun die Kathodenstrahlen allein auf eine dreifache Cellophanfolie fallen (vergl. Bild 12, die Folien wurden vor die Öffnung der Bleiplatte geklebt) und stellten ungefähr 15 mm hinter dieser die Kammer des Wulfschen Ionometers auf, so ließ sich die Röntgenstrahlung ohne Schwierigkeit beobachten. Wichtig war dabei, daß wir nicht die Graphitkammer benutzten, sondern eine Kammer aus graphitiertem Cellophan[2]) von nur 0,05 mm Wandstärke (2 Folien). Um ganz sicher zu gehen, daß nicht einzelne Kathodenstrahlen den Ablauf erzeugten, die trotz unserer gegenteiligen Versuche noch die fünffache Cellophanschicht durch-

[1]) Cellophan besitzt angenähert dieselbe Dichte wie Gewebe und absorbiert auch ungefähr ebenso stark. Nach Untersuchungen von Lenard ist nämlich die Absorption von Kathodenstrahlen der Dichte des absorbierenden Körpers in den meisten Fällen proportional.

[2]) Die Kammer erhielten wir von Herrn Dr. Küstner.

drungen haben könnten, brachten wir in einem zweiten Versuch hinter der dreifachen Cellophanschicht noch ein Stück Postkartenkarton an. Dadurch sank die gemessene Strahlung zwar auf die Hälfte — was mit Absorption der sehr weichen R-Strahlung im Karton zu erklären ist —, blieb aber deutlich nachweisbar. Natürlich mußten bei diesen Versuchen die Streustrahlen des Rohres berücksichtigt werden. Das geschah, indem wir jeweils zwei Messungen machten. Einmal warfen wir die Kathodenstrahlen mittels des Magneten auf die genannte dreifache Cellophanfolie und erhielten Streustrahlung plus Cellophanstrahlung, dann polten wir den Magneten um, wodurch die Kathodenstrahlung vom Cellophan ferngehalten wurde. und erhielten so die Streustrahlung allein. An Cellophanstrahlung wurden ungefähr 2—4 R pro Minute gemessen. Das scheint recht wenig. Bestrahlt man aber z. B. die Haut, so befindet sich diese nicht in 15 mm Abstand von der Strahlungsquelle (Cellophanfolie), wie unsere Ionometerkammer, sondern ihre Oberfläche ist selber Strahlungsquelle, also gewissermaßen Antikathode. Handelt es sich alsdann noch um Bestrahlungen von mehreren Minuten, wie wir sie anwandten, so kommt man leicht in die Größenordnung von einigen 100 R. Man darf also auch diese Röntgenstrahlung durchaus nicht vernachlässigen.

4. Die magnetische Trennung von Kathoden- und Röntgenstrahlen.

Die gewaltige R-Zahl der primären Röntgenstrahlung unseres Rohres stellte uns vor die Aufgabe, Röntgen- und Kathodenstrahlen zu trennen.

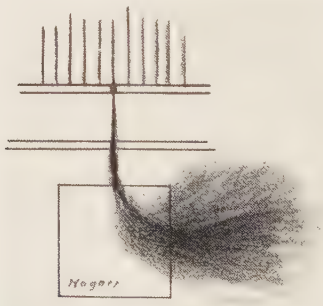

Bild 11.
Kathodenstrahlen in Luft vom Magneten abgesenkt.
Feld senkrecht zur Papierebene.

Wir benutzten dazu die Tatsache, daß Kathodenstrahlen im Magnetfeld kreisförmig gebogen werden. Der Radius des Kreises hängt von der

Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen und der Stärke des Magnetfeldes ab. Je höher die Geschwindigkeit und je schwächer das Magnetfeld, desto größer der Bahnradius, desto kleiner also die Ablenkung. Das Magnetfeld hat auf das fliegende Elektron den gleichen Einfluß wie der Wind auf ein Geschoß, wenn er senkrecht zu dessen Bahnrichtung weht. Auch hier ist die Ablenkung um so kleiner, je schneller das Geschoß und je schwächer der Wind (Magnetfeld). — Macht man die Ablenkungsversuche im Hochvakuum, so haben alle Elektronen die gleiche Geschwindigkeit und beschreiben scharf begrenzte Kreise mit gleichem Radius (mit einem Leuchtschirm ist die Bahn der Strahlen im Innern eines Vakuumrohres zu verfolgen). Anders sieht der Versuch in Luft aus. Durch Zusammenstöße mit Luftmolekülen ist die Geschwindigkeit und Bahnrichtung der Elektronen sehr verschieden. Man

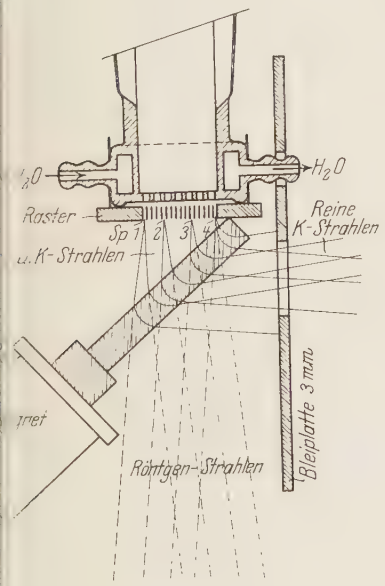

Bild 12.

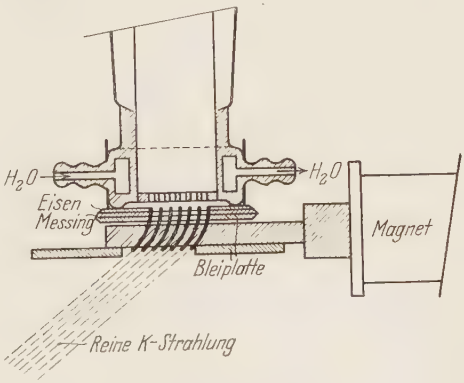

Bild 13.

bekommt ein Bild wie Bild 11 zeigt, welches also nur entfernt noch an den Kreisbogen erinnert. Immerhin kann man sich ein gewisses mittleres Kreisbogenbüschel heraussuchen, welches den größten Teil der Energie enthält. — Die Anordnung des Bildes 11 hat bei unserm Rohr den Nachteil, daß der größte Teil der Strahlung verloren geht. Macht man den Spalt breiter, so fächert wieder die Röntgenstrahlung zu weit seitlich. Diese Schwierigkeit läßt sich durch Anwendung mehrerer enger Spalten überwinden. So kamen wir zu Rasterkonstruktionen, deren Wirkung die Bilder 12 und 13 zeigen. Die Bilder 14 und 15 sind Photographien der an das Rohr mittels Bajonettverschluß angesetzten Raster. Bild 16 zeigt den Magneten am Kreisbogenraster. Aus

Bild 14.

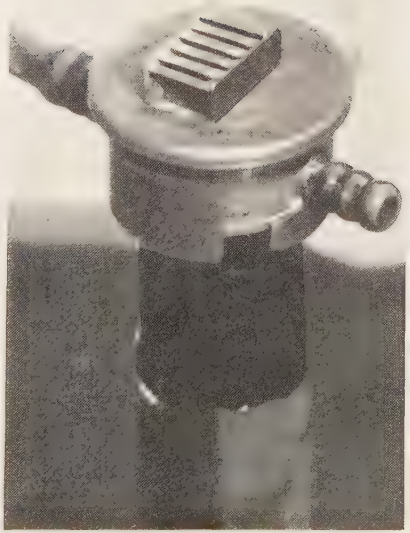

Bild 15.

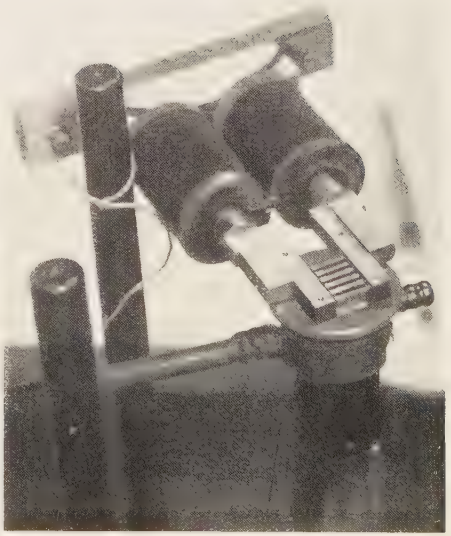

Bild 16.

ild 1 und 12 ist ersichtlich, wie der Magnet an den flachen Raster ngesetzt wird. Durch die Schrägstellung und die sehr schmalen Pol-huhe des Magneten wurde erreicht, daß die Strahlenbüschel aus ntlichen Rasterspalten ungefähr gleiche Wegstrecken im Magnetfeld rücklegen und daher alle im Mittel nur Viertelkreise beschreiben . Bild 12). Brächte man einfach breite Polschuhe unter dem Raster agerecht an, so würde die Bahn der Elektronen aus Spalt 1 (Bild 12) l länger im Magnetfeld verlaufen als etwa diejenige von Spalt 10. e würde dadurch zum Halbkreis gebogen und das Elektron flöge wieder den Raster zurück, anstatt seitlich fort. — Der flache Raster wurde s 5 mm breiten und 1 mm dicken Eisenstäbchen aufgebaut. Eisen rde gewählt, um ein Hineingreifen des Magnetfeldes ins Rohrinnere verhindern. Aus dem gleichen Grunde enthält der Kreisbogenraster, r sonst aus Blei sein muß, im Innern noch einen flachen Eisenraster ergl. Bild 13). Kann das Magnetfeld ungehindert ins Rohrinnere ein-eifen, so werden die Elektronen dort schon abgelenkt und treten nicht s der Folie aus. — Der Kreisbogenraster läßt die gradlinig vom nardfenster kommenden Röntgenstrahlen nicht durch, während die thodenstrahlbahnen durch passende Wahl der Magnetfeldstärke gerade f den richtigen Radius gekrümmt werden. — Die gekrümmten Blei-eifen des Rasters sind 2 mm dick. Dieser Raster bot den Vorteil, ß die Elektronen kürzere Luftwege zurücklegen mußten. Man erhält so größere Energien. Die Raster selber vermindern die Kathoden-rahlung auf rund $^1/_5$. Die sauberen Versuchsbedingungen sind also mlich teuer erkauft. Die Energie ist biologisch gesprochen aber mer noch hinreichend groß. Übrigens ließen sich mit Kathoden-rahlenröhren, die entsprechend gebaut sind, sicher größere Nutzeffekte dieser Hinsicht erzielen. —

Die Stärke des Magneten braucht gar nicht so riesig zu sein, wie an vielleicht annimmt. Ein guter Stahlmagnet würde völlig genügen. unsern Versuchen wählten wir nur deshalb einen Elektromagneten, il sich dessen Stärke bequem regulieren läßt und ein einfacher Pol-nder in seinem Stromkreis das Magnetfeld mit einem Handgriff zukehren gestattet, was für unsere Messungen von Vorteil war.

Anhang.

5. Kurze Ableitung der benutzten mathematischen Formeln.

a) Die Kombination von Quadrat- und Absorptionsgesetz.

Durchsetzt ein „paralleles“ Strahlenbündel ein homogenes, absorbierendes dium, so sinkt seine Intensität pro Zentimeter Weglänge jedesmal um den eichen Bruchteil, wie sich experimentell ergibt. (Bei Röntgenstrahlung ist

gleichbleibende Strahlungshärte vorausgesetzt.) Angenommen, beim Eintritt in das Medium sei die Intensität E_0, und nach 1 cm Wegstrecke $E_1 = E_0 \cdot \left(\frac{1}{k}\right)^1$, dann ergibt sich:

$$E_2 = E_0 \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{k} = E_0 \cdot \left(\frac{1}{k}\right)^2;$$

$$E_3 = E_0 \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{k} = E_0 \cdot \left(\frac{1}{k}\right)^3;$$

$$E_X = E_0 \cdot \frac{1}{k} \cdots\cdots \frac{1}{k} = E_0 \cdot \left(\frac{1}{k}\right)^X;$$

$$E_X = \frac{1}{k^X}$$

Aus Gründen, deren Erörterung hier zu weit führen würde, ist es üblich $k = e^{\alpha}$ zu setzen, worauf man erhält:

$$E_X = E_0 \cdot \frac{1}{e^{\alpha X}} = E_0 \cdot e^{-\alpha X}$$

Hierin bedeutet „e“ die Basis des sogenannten natürlichen Logarithmensystems und besitzt den Zahlenwert 2,718 . . . „α“ heißt Absorptionskonstante Ihr Wert hängt vom Medium und der Art der Strahlung ab und kann nach der Gleichung $k = e^{\alpha}$ durch Logarithmierung errechnet werden, wenn k bekannt ist. Die Formel lautet dann:

$$\log k = \alpha \cdot \log e$$

$$\alpha = \frac{\log k}{\log e} = \frac{\log k}{0{,}4343}$$

Für die Schwächung „divergenter“ Strahlenbüschel im nichtabsorbierenden Medium gilt das bekannte Quadratgesetz:

$$J_X = \frac{J_1}{X^2}$$

Man kann sich nun die in Wirklichkeit gleichzeitigen Vorgänge der Schwächung durch Absorption und der Schwächung durch den Abstand zeitlich und räumlich getrennt vorstellen. Erst erfolge die Schwächung durch den Abstand, im nichtabsorbierenden Medium, das ergibt:

$$J_X = \frac{J_1}{X_2}$$

Sodann werde das divergente Strahlenbündel parallel gemacht, um weitere Schwächung durch den Abstand zu verhindern, und durchlaufe nunmehr X cm im absorbierenden Medium. — Beim Eintritt ist seine Intensität:

$$E_0 = J_X = \frac{J_1}{X^2}$$

Nach X cm:

$$E_0 \cdot e^{-\alpha X} = J_X \cdot e^{-\alpha X} = \frac{J_1}{X^2} \cdot e^{-\alpha X} = J_X$$

$$J_X = \frac{J_1}{X^2} \cdot e^{-\alpha X}$$

Das ist unsere im Text gebrauchte Formel.

b) Zur Berechnung der Röntgenintensität in der Nähe flächenförmiger Strahler.

Zur Formel:

$$J_X = K \cdot \log\left(\frac{X^2 + r^2}{X^2}\right) \cdot e^{-\alpha X}$$

e vollständige Ableitung dieser Formel gelingt nur mit Hilfe der Integral-chnung. Es soll hier kurz gezeigt werden, wie man zu ihr gelangt und wie h auch elementar mit großer Annäherung errechnen läßt. Prinzipiell handelt sich um die gleiche Methode, die zur Berechnung des Feldes stäbchen- und chenförmiger Radiumpräparate üblich ist. Diese besteht darin, daß man sich strahlende Fläche in kleine Flächenelemente, etwa von 1 mm² zerlegt denkt. ann läßt sich jedes Element als punktförmiger Strahler betrachten. Bei der reisfläche arbeitet man verteilhaft wie folgt:

Man denkt sich im Mittelpunkt der Kreisfläche die Senkrechte errichtet und ie ganze Fläche in konzentrische Kreisringe von 1 mm Breite zerlegt, deren ittlere Radien r_1, r_2, r_3 usw. seien. Auf einem dieser Kreisringe, etwa mit dem adius „r_1“, sei die Fläche von 1 mm² abgegrenzt. Ist i_1 die Strahlungsintensität ieser Fläche in 1 cm Abstand für nichtabsorbierendes Medium, so beträgt die-be in einem Punkt der Senkrechten, in X cm Abstand vom Kreismittelpunkt

$$i_{EXr_1} = \frac{i_1}{X^2 + r_1^2}$$

on jedem Quadratmillimeter des Kreisringes erhält der fragliche Punkt auf der enkrechten die gleiche Strahlenmenge, vom ganzen Kreisring also, wenn F_{Kr_1} essen Fläche in Quadratmillimetern ist, r_1 sein Radius in „cm“:

$$i_{EXr_1} \cdot F_{Kr_1} = \frac{i_1}{X^2 + r_1^2} \cdot F_{Kr_1} = i_{Xr_1}$$

ler da

$$F_{Kr_1} = 2r_1\pi \cdot 10 \text{ mm}^2 \quad (r_1 \text{ in „cm“})$$

$$i_{Xr_1} = \frac{i_1}{X^2 + r_1^2} \cdot 2r_1\pi \cdot 10$$

ür die übrigen Kreisringe gelten entsprechende Formeln. Die Summe aller $_{Xr1,2,3\ldots\ldots}$ ergibt den Wert der Gesamtstrahlung des Fensters im Abstand cm von seinem Mittelpunkt.

Die Integralrechnung enthebt uns der umständlichen Berechnung der nzelnen $i_{Xr1,2,3\ldots\ldots}$ und ihrer Summierung mit Hilfe der auf dem gleichen edanken beruhenden Formel:

$$i_{Xr} = K \cdot \log\left(\frac{X^2 + r^2}{X^2}\right)$$

i dieser Formel bedeutet „r“ den Radius der ganzen Fläche in Zentimetern.

Im absorbierenden Medium muß die mit Hilfe der obigen Summierung oder er genannten Formel berechnete Energie noch mit $e^{-\alpha X}$ multipliziert werden. ie entsprechenden Gedankengänge sind schon beim Quadratgesetz besprochen orden. Eigentlich müßte man allerdings jedes $i_{Xr1\ldots\ldots}$, $i_{Xr2\ldots\ldots}$ usw. mit $e^{-\alpha\sqrt{X^2 + r_1^2}}$, $e^{-\alpha\sqrt{X^2 + r_2^2}}$ usw. multiplizieren, denn die Weglänge der trahlung ist nicht X cm, sondern für jeden der konzentrischen Kreisringe anders, ämlich: $\sqrt{X^2 + r_1^2}$; $\sqrt{X^2 + r_2^2}\ldots\ldots$. Unmittelbar am Lenardfenster setzt unsere

Formel die Weglänge der Strahlung in Luft einfach gleich Null, während sie tatsächlich teilweise vom Rand des Fensters ausgeht, was in unserm Fall einer Weglänge von 1,3 cm entspricht. Die Absorption der Strahlung in 1,3 cm Luft ist jedoch praktisch zu vernachlässigen. Es ist:

$$J_{1,3} = J_0 \cdot e^{-\alpha \cdot 1,3};$$

$$J_{1,3} = \frac{J_0}{1,0284}$$

Für $J_0 = 100$ folgt: $J_{1,3} = 97$. Die Schwächung beträgt also 3% wie im Text angegeben.

Es möge hier noch ein praktisches Beispiel Platz finden, wie man mit Hilfe der oben besprochenen Summierung die Strahlung für einen Punkt in Fensternähe berechnet, und zwar auf elementare Art.

Für die Strahlung einzelner Kreisringe fanden wir:

$$i_{X r_1} = \frac{i_1}{X^2 + r_1^2} \cdot 2 r_1 \pi \cdot 10 = 20 \pi i_1 \cdot \frac{r_1}{X^2 + r_1^2};$$

$$i_{X r_2} = \frac{i_1}{X^2 + r_2^2} \cdot 2 r_2 \pi \cdot 10 = 20 \pi i_1 \cdot \frac{r_2}{X_2 + r_2^2};$$

$$\vdots \qquad \vdots$$

$$i_{X r_n} = \frac{i_1}{X^2 + r_n^2} \cdot 2 r_n \pi \cdot 10 = 20 \pi i_1 \cdot \frac{r_n}{X^2 + r_n^2}.$$

Summiert folgt daraus:

$$J_X = 20 \pi i_1 \left(\frac{r_1}{X^2 + r_1^2} + \frac{r_2}{X^2 + r_2^2} + \cdots + \frac{r_n}{X^2 + r_n^2} \right).$$

Unter Berücksichtigung der Absorption ergibt sich:

$$J_X = J_X \cdot e^{-\alpha X} = 20 \pi i_1 \left(\frac{r_1}{X^2 + r_1^2} + \frac{r^2}{X^2 + r_2^2} + \cdots + \frac{r_n}{X^2 + r_n^2} \right) \cdot e^{-\alpha X};$$

$$J_X = \frac{20 \pi i_1}{e^{\alpha X}} \cdot \left(\frac{r_1}{X^2 + r_1^2} + \frac{r_2}{X^2 + r_2^2} + \cdots + \frac{r_n}{X^2 + r_n^2} \right).$$

Mit Hilfe des Quadratgesetzes hatten wir $\alpha = 0{,}0215$ gefunden. Daraus errechnet sich e^{α} zu 1,0218; $\log e^{\alpha} = 0{,}00935$. — Den Radius des Lenardfensters hatten wir zu 1,3 cm angenommen. Wir zerlegen das Fenster in 13 Kreisringe von 1 mm Breite und den Radien

$$r_1 = 0{,}05 \text{ cm}, \; r_2 = 0{,}15 \text{ cm}, \; r_3 = 0{,}25 \text{ cm} \ldots\ldots r_{13} = 1{,}25 \text{ cm}.$$

Um i_1 zu bestimmen, schreiben wir die Formel für J_X zunächst für $X = 60$ cm. Für diesen Wert ist J_X gemessen ($J_{60} = 0{,}29$ R/sec Tabelle I).

Wir erhalten:

$$J_X = \frac{20 \pi i_1}{e^{\alpha \cdot 60}} \cdot \left(\frac{r_1}{X^2 + r_1^2} + \frac{r_2}{X^2 = r_1^2} + \cdots + \frac{r_{13}}{X^2 + r_{13}^2} \right);$$

$$i_1 = \frac{J_X \cdot e^{\alpha \cdot 60}}{20 \pi \cdot \left(\frac{r_1}{\cdots\cdots} \right)};$$

und durch Einsetzen aller Zahlenwerte:

$$i_1 = \frac{0{,}29 \cdot 1{,}0218^{60}}{20 \pi \cdot \left(\frac{r_1}{\cdots\cdots} \right)};$$

$$i_1 = \frac{1{,}68}{\left(\frac{0{,}05}{3600{,}00} + \frac{0{,}15}{3600{,}02} + \cdots + \frac{1{,}25}{3601{,}56} \right)};$$

$$i_1 = \frac{1{,}68}{\left(1 \cdot \frac{0{,}05}{3600} + 3 \cdot \frac{0{,}05}{3600} + \cdots\cdots + 25 \cdot \frac{0{,}05}{3600}\right)};$$

$$i_1 = \frac{1{,}68}{\frac{0{,}05}{3600} \cdot (1 + 3 + 5 + 7 + \cdots\cdots + 25)};$$

$$i_1 = 7{,}152$$

Diesen Wert von i_1 können wir nun benutzen, um J_X für beliebiges X zu rechnen. Man erhält aus der Formel:

$$J_X = \frac{20\,\pi\,i_1}{e^{\alpha X}} \cdot \left(\frac{r_1}{X^2 + r_1^2} + \frac{r_2}{X^2 + r_2^2} + \quad + \frac{r_n}{X^2 + r_n^2}\right);$$

rch Einsetzen der Zahlenwerte von i_1 und e^{α}:

$$J_X = \frac{20\,\pi \cdot 7{,}152}{1{,}028^X} \cdot \left(\frac{r_1}{X^2 + r_1^2} + \frac{r_2}{X^2 + r_2^2} + \cdots\cdots + \frac{r_n}{X^2 + r_n^2}\right)$$

Die Rechnung werde ausgeführt für X = 1 cm. Dann folgt:

$$J_1 = 440 \cdot \left(\frac{0{,}05}{1{,}0025} + \frac{0{,}15}{1{,}0225} + \frac{0{,}25}{1{,}0625} + \frac{0{,}35}{1{,}1325} + \frac{0{,}45}{1{,}2025} + \frac{0{,}55}{1{,}3025} + \frac{0{,}65}{1{,}4225} + \frac{0{,}75}{1{,}5625} + \frac{0{,}85}{1{,}7225} + \frac{0{,}95}{1{,}9025} + \frac{1{,}05}{2{,}1025} + \frac{1{,}15}{2{,}3225} + \frac{1{,}25}{2{,}5625}\right);$$

$$J_1 = 440 \cdot 4{,}966 \frac{R}{sek};$$

$$J_1 = 2185 \frac{R}{sek}$$

Nach der Formel, welche die Integralrechnung liefert, war (siehe Tabelle II a) = 2190 R errechnet worden. Der kleine Unterschied von etwa 0,25% ist nbar belanglos. Die Anwendung der Formel bedeutet natürlich eine uneure Zeitersparnis. Außerdem ist die Formel etwas genauer, da sie nicht henelemente von 1 mm³ annimmt, sondern unbegrenzt kleine Elemente.

II. Biologischer Teil.

1. Kurze Beschreibung der Versuchsergebnisse früherer Autoren.

Grober, Pauli und Hartmann, sowie v. Redwitz und v. Anrer machten ihre biologischen Versuche, wie aus ihren Ausführungen entnehmen ist, nur mit geringen Spannungen und Intensitäten der ardröhre. Ein Zinksulfidschirm, der ja auf beide Strahlenarten giert, leuchtete in 8 cm Entfernung von der Röhre nicht mehr auf hatte seine größte Helligkeit dicht vor dem Fenster. Die genauen nungen, die benutzt wurden, sind leider aus den Arbeiten nicht zu hen. Die Milliampèrezahl betrug nur 0,8 –1. Aus diesen Gründen ren die Untersucher gezwungen, in 0,5—1 cm Entfernung von dem ster zu bestrahlen, um wirksame Kathodenstrahlen aus der Röhre

zu erhalten. Aber stets hatten sie ein Gemisch von Röntgen- und Kathodenstrahlen bei ihren Bestrahlungen.

Dasselbe gilt, wie wir im physikalischen Teil zu beweisen suchten, bei den Röhren, welche die Phönixwerke liefern. Da die Fenster dieser Röhren bedeutend dicker und dichter (Ni.) sind als die von Grober gebrauchten — sie benutzten Aluminiumfenster von 0,003 mm Dicke —, so entsteht bei der hohen Spannung mit den Kathodenstrahlen ein nicht unerhebliches Gemisch von Röntgenstrahlen von der weichsten bis zur harten Art. Infolgedessen sind die Versuche von Grober, Pauli und Hartmann, sowie neuerdings von Baensch nicht eindeutig in bezug auf die Wirkung der Kathodenstrahlen, und die therapeutischen Erfolge werden irrtümlich auf diese allein bezogen.

Alle Autoren stimmen darin überein, daß die Kathodenstrahlen in ganz kurzer Zeit Bakterien abtöten. Während Grober, Pauli und Hartmann ihre Versuche an Bacterium coli und Proteus (Bact. Weyl), sowie v. Redwitz und v. Angerer an Trypanosomen, Staphylokokken und Streptokokken anstellten, dehnte Baensch seine Versuche außer auf Coli- und Staphylokokken sowie Streptokokken noch auf Pyocyaneus und Milzbrand aus. So konnte er in 10 Sekunden die Bakterien abtöten.

Die Wirkung der Kathodenstrahlen auf die pflanzlichen und tierischen Zellen ist nach Pauli und Hartmann verschieden. Bei den Algen sind zunächst Veränderungen am Chlorophyllapparat sichtbar, die sich „in Vergrößerung mit nachträglicher Schrumpfung der Chlorophyllkörnchen, Zusammenfließen derselben zu unregelmäßigen Bändern und Klumpen und Veränderungen ihres ursprünglichen Lageorts entlang der Zellmembran" äußern. Wahrscheinlich aber sollen Veränderungen am Protoplasma die primären sein, und erst diese rufen die viel auffälligeren Erscheinungen am Chlorophyllapparat hervor. Dabei treten diese Degenerationserscheinungen um so schneller ein, wenn die Zellen auf irgendeine Weise schon vorher alteriert sind. Die Zellmembran also blieb bei all diesen Veränderungen intakt.

Bei den Infusorien (Paramaecium caudatum) sind die Ergebnisse ganz andere. Zunächst scheinen sie ihren Gleichgewichtssinn verloren zu haben, sie „führen eigenartig torkelnde Bewegungen aus, einzelne rotieren mehr oder weniger schnell um ihre Längsachse. Dann aber zeigen sich Veränderungen im Protoplasma, es kommt weiter zu Buckelungen der Zellmembran, die dann schließlich platzt und den Inhalt austreten läßt." Die primäre Veränderung der Zelle liegt nach den Autoren in der Zellmembran, welche für Wasser durchlässig wird und eine Quellung des Protoplasmas bewirkt, welche zu einer Vergrößerung der Zelle führt.

Bei den Bestrahlungen von Keimlingen, deren Wurzelspitzen bestrahlt wurden, kommt es zu keinem eindeutigen Resultat: alle Keimlinge wachsen weiter bis auf einen, welcher „starke“ Elektronen erhalten hatte. Aber auch dieser überwand bald die Schädigung.

Bei Amphibien und Säugetieren (Mäusen) untersuchten sie die verschiedenen Einwirkungen der Kathodenstrahlen auf die Haut, das Bindegewebe und die Muskeln.

Bei allen Bestrahlungen waren die Erscheinungen nicht nur an der Oberfläche, sondern auch in der Tiefe zu sehen. Das Bindegewebe und die Muskeln zeigten geringe Veränderungen. Bei den Muskeln waren diese allein durch die Schädigung der Bloßlegung verdeckt, es trat aber ihre Degeneration nach der Bestrahlung schneller ein als die bei den unbestrahlten bloßgelegten Muskeln.

Die Haut dagegen zeigte deutliche Veränderungen. Bei den Amphibien wurde sie nach starken Bestrahlungen meist nur mikroskopisch, manchmal aber auch makroskopisch sichtbar abgelöst; es waren anscheinend meist noch so viel unversehrte Hautstellen übrig, daß sie makroskopisch das Bild einer intakten Hautdecke vortäuschten. Sehr interessant erscheinen noch die Veränderungen an Zellen in bezug auf die primäre Schädigung, welche noch nicht einer völligen Zerstörung anheimgefallen waren. „Die Zellen färben sich schlechter (blasser): sie sehen oft gequollen aus; die Saftspalten zwischen ihnen treten sehr deutlich hervor, die Kerne sind oft noch gut erhalten, oft aber auch schon pyknotisch.“

Bei den Säugetieren, der Maus und dem Meerschweinchen, fanden Pauli und Hartmann sowie Baensch Rötung der bestrahlten Haut, die dann nach einiger Zeit zu schuppen begann: bei Pauli und Hartmann zeigte sich später auch die Haut gelbbraun gefärbt, nach etwa 7 Tagen „war sie wieder nahezu glatt und eigentümlich glänzend“. Das Unterhautbindegewebe war jedesmal meistens von polymorphkernigen Leukocyten, weniger von rundkernigen lymphoiden Zellen, deutlich infiltriert.

Mitunter war die Wirkung auf die Haut größer. Bei Bestrahlung des Ohrs einer Maus war die Defektbildung des Epithels so groß, daß es sogar zur oberflächlichen Geschwürsbildung kam: auch Baensch erhielt diese bei Bestrahlung mit hohen Dosen und fand die Bauchhaut des Meerschweinchen „im ganzen auf etwa $^1/_3$ ihrer normalen Dicke geschrumpft und mumifiziert, ähnlich wie bei trockener Gangrän. Die Ulcerationsflächen trugen einen fibrinösen speckigen Belag. In der Tiefe bestanden Blutungen, hier und da fanden sich polynukleäre Leukocyteninfiltrationen. — Die Muskulatur war geschrumpft, zum Teil

in scholligem Zerfall, zum Teil im Zustand wachsartiger Degeneration; — das Peritoneum war im allgemeinen erhalten, nur in einem Falle kam es ebenfalls zur Nekrose bzw. zu einer sekundären Verklebung zwischen Darmschlingen und Bauchdecke."

2. Eigene Versuche.

Um die reine Kathodenstrahlenwirkung biologisch zu studieren, benutzten wir bei unseren Versuchen den Magneten (cf. phys. Teil), der die Kathodenstrahlen im Bogen ablenkte. Wir stellten die Präparate dann so auf, daß sie nur von diesem getroffen werden konnten. Wollten wir erfahren, wie die Wirkung des Strahlengemisches war, welches aus dem Lenardfenster ausgesandt wird, so bestrahlten wir in einem (unten bei jedem Versuch angegebenen) bestimmten Abstand senkrecht unterhalb des Fensters. Die Röntgenstrahlenwirkung bei dieser Strahlung bekamen wir, wenn wir dann bei denselben Abständen die Kathodenstrahlen durch ein Kartonfilter eliminierten.

a) Versuche mit Bakterien.

Auch wir begannen unsere biologischen Versuche wie Pauli und Hartmann mit der Bestrahlung von Bakterien. Bestrahlt wurden Staphylo- und Streptokokken und später Tuberkelbazillen. Alle Bakterien waren in Reinkultur, die uns das hiesige Hygienische Institut zur Verfügung stellte. Da die Streptokokken sich an der Platinöse nicht lange genug lebensfähig hielten, so benutzten wir diese später zu unseren Versuchen nicht mehr.

Wir untersuchten zunächst, wie lange die Bakterien an einer Platinöse lebensfähig waren. Wir entnahmen eine Öse einer Reinkultur, ließen diese an der Luft stehen und strichen sie in bestimmten Zeitabständen wieder auf einer Agarplatte aus. Es zeigte sich, daß nach 20 Minuten alle Kulturen noch angingen.

Von den Tuberkelbazillen wurde uns von Herrn Dr. Kappus, dem Assistenten des Hygienischen Instituts, eine Aufschwemmung hergestellt, welche auf Objektträgern gleichmäßig mit einer Klebemasse verstrichen war.

Die Bestrahlung wurde jedesmal mit 150 kV. max. und 2 mA. vorgenommen.

Da ja die Platinöse aus einem runden Draht besteht, so konnte unter Umständen die Elektronenstrahlung wegen ihrer geradlinigen Fortpflanzung nicht jeden Teil treffen. Deshalb konstruierten wir uns einen kleinen Platinlöffel, dessen konvexe Seite wir jedesmal vor der Bestrahlung auf die Reinkultur tupften. Mit Sorgfalt wurden die Stellen

sgewählt, wo die Elektronen unseren Raster (cf. Bild 12) verließen. ir überzeugten uns vor und während der Bestrahlung dauernd, ob d wo wir Kathodenstrahlen bekämen, indem wir durch Umpolung mal die Elektronen nach der einen Seite und dann nach der anderen ite abbogen. Der Zinksulfidschirm zeigte uns, wo das Maximum der rahlung lag.

Bei der Bestrahlung von Staphylokokken mit Kathodenstrahlen igte sich nun folgendes:

1. Bei 8 cm Abstand (dieser Abstand und die folgenden bedeuten die ungefähre mittlere Länge des vom Magnetfeld gekrümmten Elektronenweges in Luft).

Bestrahlung	1 Sek.	Kulturen wachsen an
	2 „	
	5 „	
	15 „	
	30 „	
	1 Min.	
	2 „	Kulturen wachsen nicht an
	4 „	

2. Bei 7 cm Abstand

Bestrahlung	6 Sek.	Kulturen wachsen an
	12 „	
	18 „	
	35 „	
	1 Min.	

3. Bei 6 cm Abstand

Bestrahlung	1 Min.	Kulturen wachsen nicht an.
	4 „	

4. Bei 5½ cm Abstand

Bestrahlung	6 Sek.	Kulturen wachsen an.
	12 „	
	18 „	
	35 „	
	1 Min.	Kulturen wachsen nicht an.
	2 „	

5. Bei 5 cm Abstand

Bestrahlung	1 Min.	Kulturen wachsen an.
	2 „	Kulturen wachsen nicht an.

6. Bei 4½ cm Abstand

Bestrahlung	6 Sek.	Kulturen wachsen an.
	12 „	
	18 „	
	35 „	
	1 Min.	Kulturen wachsen nicht an.
	2 „	

Aus diesen Versuchsreihen folgt, daß bei Ablenkung der Kathodenstrahlen eine Abtötung der Staphylokokken in Sekunden vollkommen versagte. Sie trat erst in Minuten ein. Das Ergebnis der Bestrahlung von 1 Minute unter Nr. 5 fällt ganz aus dem Rahmen unserer anderen Ergebnisse. Vielleicht hatten wir auf dem Platinlöffelchen eine zu dicke Bakterienschicht gehabt, die von den Kathodenstrahlen nicht mehr durchstrahlt wurde. Es ist daher nicht für die Beurteiluug verwertbar.

Das Ergebnis war auffallend. Während die anderen Autoren die Bakterien in Sekunden oder wie Pauli mit relativ wenigen Entladungen abtöten konnten, war es uns nur in Minuten möglich. Als Erklärung dafür dürfte gelten, daß wir durch die Ablenkung der Kathodenstrahlen nur eine verhältnismäßig geringe Menge erhielten, da eine Schwächung derselben einmal durch die Blende. dann durch die Zerstreuung des Magneten und drittens durch den Luftweg eintritt. Schließlich konnte aber auch der Röntgenstrahlenanteil des Strahlengemisches, welches Pauli und Hartmann sowie Baensch bei ihren Versuchen mitwirken ließen, bei der Abtötung der Bakterien eine Rolle spielen: wir beschlossen aus diesen Gründen, die Bestrahlung ohne Raster vorzunehmen, so daß wir in gewissen Abständen die Bakterien senkrecht unter dem Röhrenfenster bestrahlten.

Die Bestrahlung von Staphylokokken mit Kathoden- und Röntgenstrahlen.

1. Bei 12 cm Abstand vom Fenster:
   Bestrahlung 1 Min. } Kulturen wachsen an.
   4 „ }
2. Bei 8 cm Abstand vom Fenster:
   Bestrahlung 2 Sek. }
   10 „ }
   20 „ } Kulturen wachsen an.
   30 „ }
   60 „ }
   2 Min. Kulturen wachsen nicht an.
3. Bei 4 cm Abstand vom Fenster:
   Bestrahlung 5 Sek. }
   6 „ }
   10 „ } Kulturen wachsen nicht an.
   20 „ }
   30 „ }
4. Bei 2 cm Abstand vom Fenster:
   Bestrahlung 5 Sek. Kulturen wachsen nicht an.
5. Bei ½ cm Abstand vom Fenster:
   Bestrahlung 5 Sek. Kulturen wachsen nicht an.

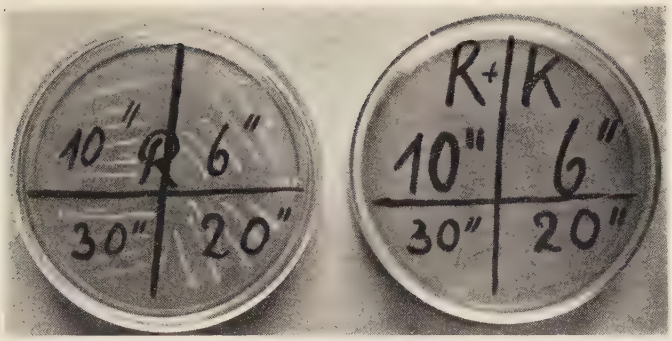

Bild 17.

aks Bestrahlung mit Röntgen-, rechts mit Kathoden- und Röntgenstrahlen. aks sind die Bakterien gewachsen, rechts ist keine Kultur angegangen. Abstand 4 cm vom Fenster.

Unsere Vermutung bestätigte sich also. Bei den übergroßen Abänden von 12 cm, wo der Ketonschirm nur noch ein ganz geringes ufleuchten zeigte, konnten die Bakterien, wie vorauszusehen war, nicht ehr abgetötet werden. Auch bei 8 cm war ein Abtöten nur in Minuten öglich. Erst in einem Abstand von 4 cm war dazu eine so geringe estrahlungszeit nötig, wie die anderen Autoren es gefunden hatten.

Um aber zu erfahren, welche Wirkung die Röntgenstrahlen allein i der Abtötung der Bakterien hätten, schalteten wir die Kathodenrahlen bei gleicher Versuchsanordnung durch ein Kartonfilter aus, das rfahrungsgemäß (cf. physikalischer Teil) keine Kathodenstrahlen mehr archließ, aber auch die weichsten Röntgenstrahlen absorbierte. Wir estrahlten mit Röntgenstrahlen in 4 cm Abstand vom Fenster:

Bestrahlung	6 Sek.	Kulturen wachsen an (s. Bild 17).
	10 „	
	20 „	
	30 „	

Es liegt daher klar auf der Hand, daß die aus der Röhre kommenden öntgenstrahlen in diesem und in einem größeren Abstand unmöglich e Bakterien abtöten können. Ob sie es in geringerer Entfernung tun, atersuchten wir nicht, ist aber bei der sehr großen Intensität der öntgenstrahlen vor der Röhre immerhin möglich.

Die Bestrahlung der Tuberkelbacillen wurde anfangs mit unserem achen Eisenraster in einem 2 cm großen Abstand vom Rand vorenommen (5 cm Abstand in Luftweg). Die Bestrahlungszeit betrug Minuten. Eine weitere Reihe von Präparaten wurde dann mit unserer reisbogenblende 10 Minuten lang bestrahlt und ein Präparat ohne lende unter dem Fenster in einem Abstand von 1 cm 1 Minute.

Sämtliche Bacillen wurden durch unsere Bestrahlung abgetötet. Die Untersuchung und das schwierige Züchten der Tuberkelbacillen wurde von Herrn Dr. Kappus übernommen.

Bei der Bestrahlung der Bakterien ohne Raster dicht unter dem Fenster fiel uns auf, daß der Objektträger oder Platinlöffel grünlich aufleuchtete. Das Licht verschwand sofort nach der Bestrahlung. Es konnte sich daher nur um Fluoreszenzlicht handeln. Da hierbei Ultraviolettlicht entstehen kann, das ja stark baktericid wirkt, so bestrahlten wir Staphylokokken unter der Höhensonne in einem Abstand von 10 bis 30 cm 5 und 30 Sekunden lang. Näher heran glaubten wir nicht gehen zu dürfen, da wir durch die ausstrahlende Wärme die Bakterien zum Eintrocknen hätten bringen können. Unsere Vermutung bestätigte sich jedoch nicht, alle Kulturen wuchsen an.

Die Bestrahlungsversuche gaben demnach ein eindeutiges Resultat. Staphylokokken und Tuberkelbacillen konnten mit reinen Kathodenstrahlen abgetötet werden. Jedoch war die Zeit, die wir dazu verwandten, aus den oben angegebenen Gründen bedeutend länger als diejenige, welche die anderen Autoren für die Abtötung der Bakterien nötig hatten. Bestrahlten wir dagegen senkrecht unter dem Fenster, so hatten auch wir wegen der größeren Intensität der Kathodenstrahlen nur sehr geringe Bestrahlungszeiten nötig. Die Röntgenstrahlen, welche bei dieser Versuchsanordnung mit den Kathodenstrahlen emittiert wurden, konnten in 4 cm Abstand des Präparates vom Fenster die Bakterien nicht abtöten. Infolgedessen kommt die Abtötung nur auf das Konto der Kathodenstrahlen.

b) Versuche an Pflanzen.

Es wurden die Wurzelspitzen von jungen Bohnenkeimlingen bestrahlt, und zwar 4 à 10 Minuten mit Kathodenstrahlen in 2 cm Abstand vom Rasterrand, 4 à 2 Minuten und 2 à 1 Minute nur mit Röntgenstrahlen in 3 cm Abstand senkrecht vom Fenster. Sie wurden teils gleich nach der Bestrahlung eingepflanzt, teils in nasses Filtrierpapier gelegt. Es zeigten sich am nächsten Tage sämtliche Wurzelspitzen gebräunt mit Ausnahme einer Wurzel, welche mit Röntgenstrahlen 2 Minuten lang bestrahlt worden war. Mikroskopisch ließ sich außer dieser Verfärbung nichts Besonderes an den Wurzeln feststellen. Bald aber zeigte sich ein großer Unterschied zwischen den mit Kathodenstrahlen und Röntgenstrahlen bestrahlten Keimlingen.

Alle eingepflanzten Bohnen begannen schnell zu wachsen. Jedoch kehrten sich die mit Kathodenstrahlen bestrahlten Wurzelspitzen zweier Bohnen in der Erde um und standen eines Tages abgestorben frei in

er Luft. Wir pflanzten sie wieder ein. Sämtliche Wurzeln der mit athodenstrahlen bestrahlten Bohnen hatten bald starke Nebenwurzeln eschlagen; aber das Wurzelende vertrocknete vollkommen (cf. Bild 18 nd 19).

Während nun die in der Erde und die in dem nassen Filtrierpier liegenden, mit Kathodenstrahlen bestrahlten Bohnen durchweg

Bild 18.

t Kathodenstrahlen bestrahlte Bohnen. Man sieht die vielen Nebenwurzeln, die Hauptwurzelspitze ist bei beiden abgestorben.

Bild 19.

Mit Röntgenstrahlen bestrahlte Bohnen. Sämtliche Keimlinge starben ab.

eiterwuchsen, stellten die mit Röntgenstrahlen bestrahlten bald ihr achstum ein. Auch eine eingepflanzte Bohne, die anfangs kleine itenwurzeln sprießen ließ, starb vollkommen ab. Den Wachstumsterschied konnte man deutlich erkennen.

Bei einer Wiederholung des Versuchs mit der Kreisbogenblende igte sich, daß die Wurzelspitzen kurz nach der Bestrahlung schlaff

herabhingen. Sie erholten sich aber in den nächsten Tagen wieder und schlugen starke Seitenwurzeln.

Wir beobachteten weiter das Wachstum der Pflanzen, um etwaige spätere Degenerationserscheinungen zu sehen, konnten jedoch bei einer sechswöchigen Beobachtung an den Blättern und am Stamm nichts Besonderes entdecken. Sie glichen in allem den unbestrahlten Pflanzen. Außer den Keimlingen bestrahlten wir die jungen Triebe von Erbsen teils mit Kathoden-, teils mit Kathoden- und Röntgenstrahlen. Mit Kathodenstrahlen bestrahlten wir 6 Minuten, mit Kathoden- und Röntgen-

Bild 20.

Man sieht deutlich, wie sich eine junge Erbse durch die Kathoden- und Röntgenstrahlen umgelegt hat. Vollkommenes Absterben nach einigen Tagen. Das Einrollen der Blattränder sieht man auf diesem Bilde leider nicht. Die übrigen Pflanzen sind mit Kathodenstrahlen bestrahlt worden. An ihrem Wachstum ist nichts Besonderes auffällig.

strahlen nur 4 Minuten bei einem Abstand von etwa 2 cm vom Fenster. Am nächsten Tage waren die Blätter der mit Kathoden- und Röntgenstrahlen bestrahlten Erbsen stark geschrumpft, so daß es von vornherein den Anschein hatte, daß sie abstarben. Sie gingen dann auch nach einigen Tagen völlig ein (cf. Bild 20). Die mit Kathodenstrahlen bestrahlten Erbsen zeigten dagegen zunächst keine Veränderung; aber in den nächsten Tagen falteten sich die Blattränder, die sich später stark zusammenrollten. Andere sahen wieder fleckig und durchscheinend gelb aus, sie hatten ihr Chlorophyll verloren.

Zur Bestrahlung der Blütenblätter veranlaßte uns folgende Beobachtung: Bei einer Bestrahlung, bei der wir als Filter einen gelben Kartonfilter benutzten, fanden wir, daß die gelbe Farbe da, wo die Elektronen aufgetroffen waren, einer grauen gewichen war. Dies mußte eine Zerstörung des Farbstoffes durch die Elektronen gewesen sein, und wir beschlossen zu untersuchen, ob sich der Farbstoff ähnlich wie bei den jungen Erbsenblättern auch in den Blütenblättern änderte. Wir bestrahlten darauf die Blüten von Stiefmütterchen, fanden aber zunächst keine Veränderung. Am nächsten Tage war jedoch der dunkelviolette Farbstoff an der Stelle verschwunden, die durch die Elektronen getroffen war. Das Blütenblatt hatte einen weißen Fleck.

Ferner untersuchten wir die Veränderung der Blüten von kleinen gelben Leberblümchen bei Bestrahlung von Kathoden- und Röntgenstrahlen (2 cm Abstand vom Fenster 3 Minuten lang). Sofort nach der Bestrahlung sah man langsam aber ganz deutlich das Herabsinken der Blumenkrone; die gelben Blüten rollten sich zusammen und verfielen beim Anfassen zu schmierigem Staub. Mikroskopisch fanden sich die Zellen vollkommen zertrümmert, die Zellmembranen zerrissen und das Chlorophyll verklumpt.

Bei den mit Röntgenstrahlen Bestrahlten war nichts Auffälliges zu bemerken. Auch mikroskopisch fanden sich die Zellen vollkommen erhalten.

Bei Bestrahlung von 95 kV. max. und 2 mA. (3 Min.) und einem Abstand von 5 cm — Spannungen, welche Baensch zur Behandlung von Patienten anwandte — fand sich dagegen makroskopisch nichts Besonderes; mikroskopisch waren vereinzelte zerrissene Zellmembranen zu sehen. Diese Zelldefekte waren aber augenscheinlich so gering, daß der Zellverband noch vollkommen erhalten geblieben war. Dasselbe Ergebnis bekamen wir, wenn wir bei 150 kV. und 2 mA. in einem Abstand von 5 cm nur $^1/_2$ Min. bestrahlten.

Aus diesen Bestrahlungen von Pflanzen können wir schließen, daß die Kathodenstrahlen die Keimlinge wegen ihrer geringen Tiefenwirkung wohl schädigen, aber nicht völlig abtöten können. Auffallend war das starke Auftreten von Nebenwürzelchen, die durch die Schädigung der Wurzelspitze zum Wuchern gebracht wurden; denn nach kurzer Zeit vertrockneten die Spitzen vollkommen. Es mußte eben durch rasches Schlagen von Nebenwurzeln ein Ausgleich geschaffen werden, wenn der Keimling nicht ganz eingehen sollte. Daß Pauli und Hartmann keine besondere Schädigung der Keimlinge sahen, führen wir auf ihre weiche Bestrahlung zurück, die noch dazu eine geringe Intensität hatte. Allerdings hatten die Wurzeln auch bei uns die Schädigung bald über-

standen. Man konnte den Pflanzen nachher nichts von einer Bestrahlung anmerken. Sämtliche Bohnen entwickelten sich kräftig.

Auch bei den jungen Blättchen war die Wirkung der Kathodenstrahlen nicht sehr groß. Vor allem war die Veränderung der Blattfarbe auffallend. Die gelben Flecken der Blätter und ebenso das Farbloswerden der Blüten von Stiefmütterchen führen wir auf eine chemische Veränderung zurück, die sich erst langsam auswirkte. Daß Kathodenstrahlen tatsächlich chemische Veränderungen hervorrufen, ist bereits vor Jahren von Physikern bewiesen worden, und wird erneut bestätigt durch die oben erwähnte Entfärbung des gelben Kartons.

Das Einrollen der Blätter beruht auf einer Schädigung der Zellwandung; wo diese nun zuerst eintritt, ob in der Zelle selbst oder in der Zellwandung, ist schwer zu sagen: aber selbst bei geringen Dosen schienen die Zellmembranen hier und da zerrissen, die Zellen waren dadurch zu einem Syncytium vereinigt. Zwar fanden Pauli und Hartmann die Zellgrenzen bei den Algen intakt und nur den Chlorophyllapparat geschädigt, sie führen aber die Quellung der Infusorien auf den Durchtritt von Wasser durch die Zellmembran zurück, die durch die Elektronen angegriffen worden war. Es wird daher in diesen Fällen wahrscheinlich die Zellmembran primär geschädigt worden sein.

Nach unserer Meinung ist es nun so, daß durch die Elektronen sämtliche Teile der Zelle geschädigt bzw. beeinflußt werden, daß aber die makro- oder mikroskopisch sichtbare Schädigung von dem individuellen Chemismus der Zelle abhängt.

Wir können uns z. B. gut vorstellen, daß chemisch stabile Verbindungen weniger leicht von den Elektronen verändert werden als weniger stabile. Daher wird bei der einen Zellart mehr die eine Substanz durch die Elektronen angegriffen werden als bei einer anderen Zellart.

Im Gegensatz zu den Kathodenstrahlen bringen die Röntgenstrahlen die Pflanzen zum Absterben. Das ist leicht verständlich, da sie viel tiefer in das Gewebe eindringen und dort eine Zerstörung hervorrufen. Der Prozeß scheint nur langsamer zu wirken; denn kurz nach der Bestrahlung der Blüten sahen wir die Zellen noch vollkommen erhalten. Auch bei den Keimlingen setzte die Wirkung erst später ein. Zunächst wuchsen sie weiter und trieben kleine Blättchen: dann aber trat Stillstand im Wachstum ein, und nach ein paar Wochen waren sie vollkommen abgestorben.

c) Versuche an gesunden Tieren.

Um zu erfahren, wie die Haut der Säugetiere auf Kathodenstrahlen reagiert, bestrahlten wir Meerschweinchen, nachdem wir tags vorher die

Haare mit einem Epilationsmittel entfernt und den letzten Rest der ganz weichen Haare mit dem Rasiermesser abrasiert hatten. Wir glaubten das tun zu müssen, da wir an den nur kurzgeschorenen Stellen nur eine ganz geringe Einwirkung der Kathodenstrahlen gesehen hatten. Die Haare der Tiere hielten die Elektronen vollkommen ab, und an den Stellen, wo die Elektronen zwischen den Haaren in die Haut gedrungen waren, schilferte sie nach einigen Tagen ganz gering. Da wir aber eine größere Wirkung erzielen wollten, so mußten wir die Haare restlos entfernen.

Bei dem Epilieren gingen wir sehr vorsichtig ans Werk, damit die Haut nicht allzu sehr schon vor der Bestrahlung geschädigt wurde. Die geringe Rötung, sofern sie danach aufgetreten war, war am nächsten Tage nach Einreiben der kahlen Hautstellen mit Vaseline vollkommen verschwunden. Mikroskopisch zeigte sich dann auch solche Haut unverändert, wie man es an den Bildern 21 und 22 erkennen kann, die wir zum Vergleich mit den bestrahlten Präparaten machten. Zu unseren Versuchen benutzten wir ausschließlich Meerschweinchen, denen wir die Haut seitlich der Wirbelsäule bestrahlten.

α) Bestrahlung von Meerschweinchen. Die Tiere wurden zur Bestrahlung auf einem Brettchen nach Langstrecken der Extremitäten an diesem gut festgebunden. Damit sie aber ruhig liegen blieben — sie sind sehr schreckhaft — wurde jedesmal 1 ccm Morph. (1%)-Atropin injiziert. Dann wurde um sie ein 1 mm dicker Bleimantel gelegt, in dem ein Fenster von 1 · 1 cm geschnitten war. Die zu bestrahlende Hautstelle wurde sofort mit Fuchsin umzeichnet, um bei der Bestrahlung zu sehen, ob die Tiere sich bewegt hatten. Das trat nur in ganz wenigen Fällen ein; die Hautstelle fiel dann zur mikroskopischen Prüfung aus.

Die größte Anzahl der Bestrahlungen fand mit unserem Eisenraster statt, später benutzten wir unsere Kreisbogenblende. Wir gingen jedesmal so weit wie möglich mit dem Objekt an den Raster heran; nach jeder Bestrahlung von $^1/_2$ Minute wurde eine Pause von der gleichen Zeit eingeschaltet, damit sich das Lenardfenster nicht zu sehr erhitzte.

Zunächst beobachteten wir makroskopisch die Reaktion des Tieres und der Haut nach der Bestrahlung, die bei 150 kV. und 2 mA. 5 Minuten lang dauerte. Am Tage nach der Bestrahlung war wie bei Kienböck und Hartmann die Haut etwas gebräunt und gering geschwollen. Eine Infiltration fühlte man zunächst jedoch nicht. Die Tiere vertrugen sämtliche Bestrahlungen ausnahmslos gut. Sie fraßen wie gewöhnlich und rannten in ihren geräumigen Käfigen herum. Nach 48 Stunden war die Haut ganz gering, aber gegenüber den unbestrahlten Stellen

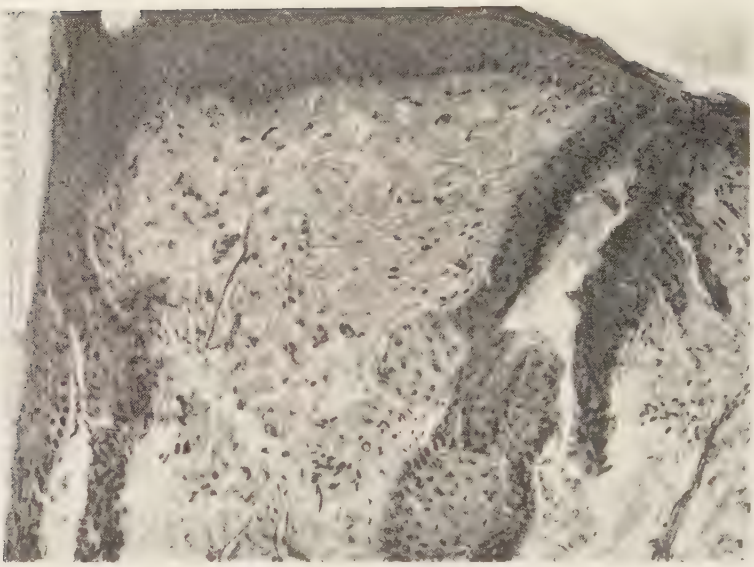

Bild 21.
Normale Haut mit Unterhautbindegewebe.

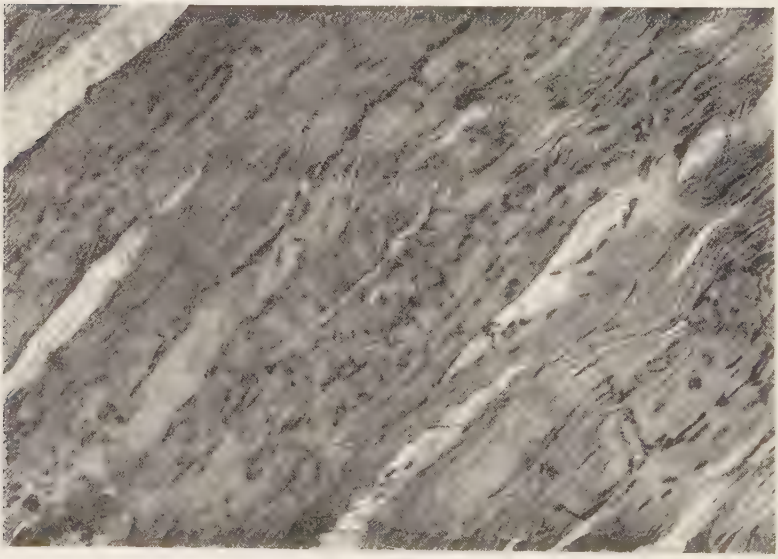

Bild 22.
Die darunter befindliche Muskelschicht.

eutlich verdickt. Nach 6 Tagen schuppte sich die bestrahlte Haut; ie Haare wuchsen wie an den nichtbestrahlten Stellen. Die Infiltration ar nach kurzer Zeit nicht mehr zu fühlen, und damit hatte der Prozeß uch sein Ende erreicht.

Nunmehr verlängerten wir die Bestrahlungszeit auf 10 Minuten. akroskopisch fand sich nur insofern ein Unterschied, als die bestrahlte erflächliche Epidermis sich im ganzen, und zwar nach 6 Tagen, abste. Um nun den Unterschied von der Röntgenstrahlenwirkung zu hen, bestrahlten wir dieselben Tiere an anderen Stellen nur mit ntgenstrahlen, senkrecht unter dem Fenster mit Eliminierung der athodenstrahlen durch ein Kartonfilter. Damit die Reaktion aber cht zu groß wurde, bestrahlten wir bei 150 kV., 2 mA. und einem bstand von 5 cm jedes Feld nur 24 Sekunden. Nach unserer Messung nd Berechnung mit dem Wulfschen Ionometer gaben wir etwa 000 R bei Kartonfilterung.

Die Felder, Haut, Unterhautbindegewebe und Muskelschicht wurden ach 8 Stunden, nach 2 Tagen, nach 6 und nach 14 Tagen heraus-eschnitten, in Formalin gehärtet und dann in Alkohol gelegt. Von amtlichen Präparaten wurden Paraffinschnitte gemacht und diese mit ämalaun-Eosin und nach van Gieson gefärbt. Außerdem wurden ch noch mehrere normale Haut- und Muskelstücke gefärbt, um zu hen, welche Veränderungen die Bestrahlungen gemacht hatten.

Die histologischen Untersuchungen ergaben nun folgendes:

I. Präparat nach 8 Stunden.

1. Bestrahlt mit Kathodenstrahlen: a) Hautschicht. Im Präparat t die Hornschicht z. T. abgelöst; dies ist jedoch nichts Besonderes, da es auch ei unbestrahlten Präparaten zu sehen ist. Es ist kaum ein Unterschied vom ormalen Präparat festzustellen, doch scheinen die Zellen im Unterhautbinde-ewebe etwas vermehrt zu sein.

b) Muskelschicht. Dicht oberhalb derselben finden sich Leukocyten und undzellen. Zwischen den Muskelzellen starke Blutungen, jedoch keine Infiltration es Muskelgewebes.

2. Bestrahlt mit Röntgenstrahlen: a) Hautschicht. Auch hier ist e oberste Hautschicht von der Unterlage z. T. abgelöst. Auch das Unterhaut-ndegewebe bildet zu 1a keinen Unterschied.

b) Muskelschicht. Ebenso wie in 1b deutliche Infiltration dicht oberhalb er Muskeln, die jedoch etwas stärker zu sein scheint. Auch hier Blutungen wischen den Muskelzellen, die aber bei den mit Kathodenstrahlen bestrahlten räparaten bedeutend größer sind.

II. Präparat nach 48 Stunden.

1. Bestrahlt mit Kathodenstrahlen: a) Hautschicht. Die erhaltenen pithelzellen sind ohne Besonderheit. Es scheinen die Zellkerne dicht unterhalb er zerstörten Epitheldecke verändert. Das Chromatin ist verklumpt. An einer

Stelle fehlt das Epithel bis auf geringe Reste. Dicht unterhalb desselben Rundzelleninfiltrate, die im lockeren Bindegewebe dichter werden. Blutungen im Bindegewebe.

b) Muskelschicht. An der Muskulatur ist nichts Besonderes zu erkennen.

2. Bestrahlt mit Röntgenstrahlen: a) Hautschicht. Auch hier Infiltrationen im subkutanen Gewebe, die ungefähr gleich groß sind. Nur findet sich

b) die Muskelschicht im Gegensatz zu 1b infiltriert.

III. Präparat nach 6 Tagen (Bild 23, 24 und 25).

1. Bestrahlt mit Kathodenstrahlen: a) Hautschicht. Die oberste Schicht ist fast überall verloren gegangen, bis auf kleine Reste, in denen sich Blutungen befinden. Das Unterhautbindegewebe führt kleine Zellen, die aber kaum gegenüber dem normalen Gewebe vermehrt zu sein scheinen. Dicht ober-

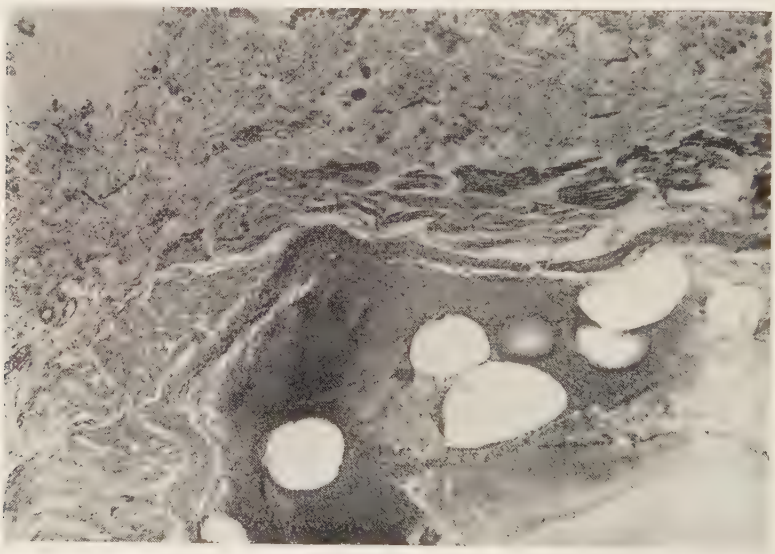

Bild 23.

Mit Kathodenstrahlen bestrahltes Gewebe nach 6 Tagen. Man sieht deutlich die ungeheueren Blutungen. Das Unterhautbindegewebe gering infiltriert.

halb der Hautmuskelschicht ungeheure Blutungen und kleine Infiltrate. Die Muskelzellen sind im allgemeinen unverändert, an vereinzelten Stellen sind sie deutlich verdickt, glasig aufgetrieben und ihrer Querstreifung beraubt.

b) Muskelschicht. Die tieferen Muskeln sind an einzelnen Stellen durch Blutungen faserig zerrissen. Auch in den Interstitien zeigen sich Blutungen.

2. Bestrahlt mit Röntgenstrahlen: a) Hautschicht. Auch hier wie in 1a ist die Hornschicht bis auf geringe Reste verloren gegangen, im Unterhautbindegewebe ist die Zellenzahl gering vermehrt. Kleine Blutung oberhalb der Hautmuskelzellen, die auch teilweise ihre Färbung verloren haben und grauglasig aussehen.

b) Muskelschicht. Kurz oberhalb derselben Infiltration von Leuko- und Lymphocyten. Zwischen den Muskelzellen kleine Blutungen.

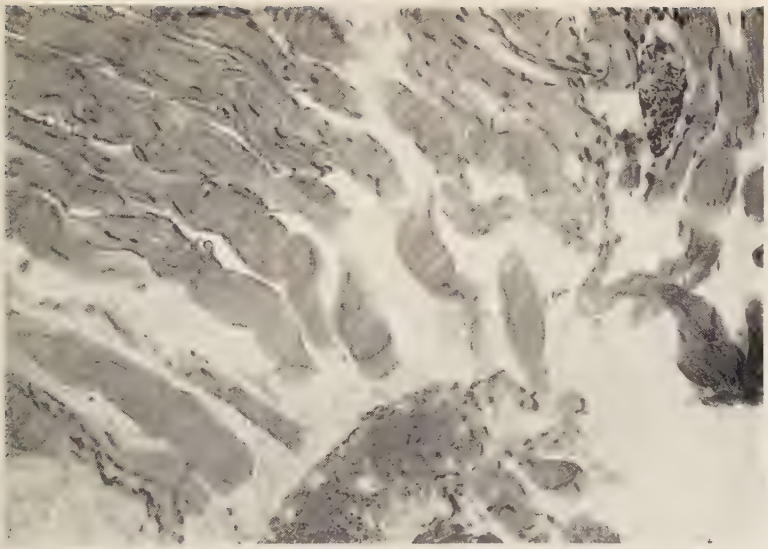

Bild 24.
Dasselbe Präparat. Man sieht deutlich die zerrissenen Muskelfasern.

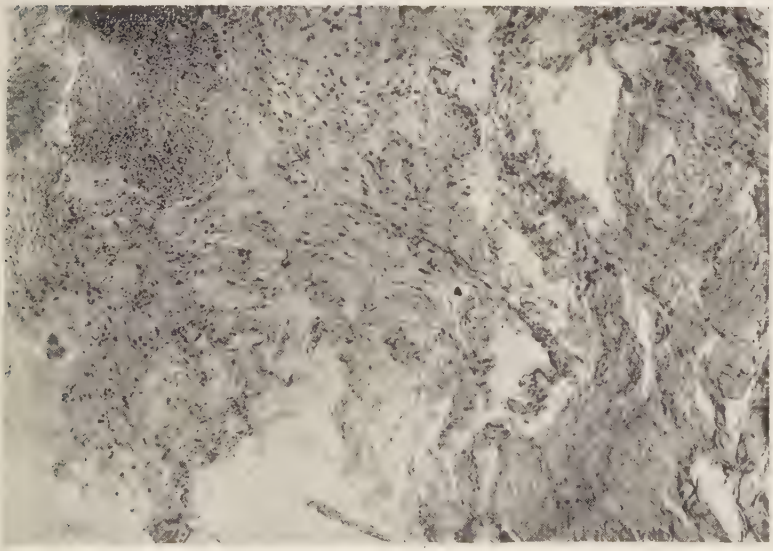

Bild 25.
terhautbindegewebe und Muskeln mit Röntgenstrahlen bestrahlt. Nach 6 Tagen.
en links im Präparat Blutung. Infiltration des Unterhautbindegewebes. Die kleinen Blutungen zwischen den Muskelzellen sind hier nicht getroffen.

IV. Präparat nach 14 Tagen (Bild 26).

1. Bestrahlt mit Kathodenstrahlen: a) Hautschicht. Die Hautschicht ist wieder gewachsen. Dicht unter dem Epithel noch vereinzelte kleine Infiltrationen. Haarbälge vorhanden.

b) Muskelschicht. Die Muskelzellen unverändert. Dicht oberhalb derselben noch geringe Infiltrationen; in den Interstitien kleine Blutungherde.

2. Bestrahlt mit Röntgenstrahlen: a) Hautschicht. Das Epithel ist auch hier wieder vollkommen regeneriert. Dicht darunter geringe Infiltrationen.

b) Muskelschicht. Zwischen den Muskelzellen geringe Blutungen. Die Muskelzellen selbst sind unverändert.

Bild 26.
Muskelinfiltration durch Kathodenstrahlen nach 14 Tagen.

Die Untersuchungen ergaben demnach in der Wirkung keinen prinzipiellen Unterschied zwischen den Bestrahlungsarten. In beiden fanden sich Infiltrationen von Leuko- und Lymphocyten im Unterhautbindegewebe wie in der Muskelschicht. Ebenfalls waren bei beiden Blutungen vorhanden, die jedoch bei den Präparaten mit Kathodenstrahlen oftmals stärker als mit Röntgenstrahlen waren. Die Infiltrationen wechselten an Stärke bei beiden Arten.

Makroskopisch fand sich beim Herausschneiden dicht unter der Haut bei den mit Kathoden- und mit Röntgenstrahlen bestrahlten Präparaten jedesmal eine Blutung. Die oberste Epitheldecke löste sich bei den mit Kathodenstrahlen bestrahlten Tieren nach etwa 6 Tagen vollkommen ab, eine Erscheinung, die bei den mit Röntgenstrahlen

bestrahlten Präparaten nur in sehr geringem Maße bemerkt werden konnte. Nach 6 Tagen schien makro- wie mikroskopisch die Entzündung ihren Höhepunkt erreicht zu haben. Die Infiltrationen wurden geringer und die Epitheldecke regenerierte sich wieder.

Um zu erkennen, wie tief sich die Gewebsveränderungen in der Muskulatur befinden, bestrahlten wir den Oberschenkel eines Meerschweinchens 20 Minuten lang mit Kathodenstrahlen. Schon nach mehreren Stunden sah man deutlich eine Rötung der Haut, die am nächsten Tage einer bräunlich-rötlichen Verfärbung Platz machte. Am 6. Tage wurde das bestrahlte Feld mit einem großen Muskelstück entfernt. Eine Blutung unter der Haut war, wie sonst immer gesehen wurde, diesmal nicht zu bemerken, doch war die Muskelfascie deutlich mit der Haut verklebt. Mikroskopisch sieht man fleckweise Infiltrationen dicht unter der Epidermis, welche bis auf die Hornschicht sich als intakt erweist. Das subkutane Bindegewebe ist ohne Veränderung. Die Muskelschicht ist deutlich durchsetzt von vielen eigentümlichen Zellen mit großem Kern, wie ich es schon öfter bei Untersuchungen von bestrahlten Muskeln bei Kaninchen gesehen habe. Sie scheinen den Blutzellen anzugehören, denn man sieht sie deutlich aus einer Kapillare herauswandern. Außer diesen finden sich vereinzelt Leukocyten. Die Muskulatur ist von Blutungen durchsetzt, die sich in den Interstitien und zwischen den Muskelfasern befinden (Bild 26). An vereinzelten Stellen, wo die Querstreifung verloren gegangen ist, sieht die Muskelfaser glasig aus.

Auffallend ist die tiefe Reaktion, die wir noch in einem Muskelstück konstatieren konnten, welches etwa $^1/_2$ cm unterhalb der Haut herausgenommen wurde. Die eigentliche Wirkung der Kathodenstrahlung, die bereits in der alleroberflächlichsten Hautschicht absorbiert (cf. physikalischen Teil) ist, dokumentiert sich in der Ablösung der Hautschicht; zu dieser Elektronenwirkung kommen aber sicherlich noch zwei Faktoren: einmal die biologische Reaktion überhaupt, die auf jeden Reiz, ganz gleich welcher Art und Größe, entsteht, und dann die sekundäre Röntgenstrahlung, die beim Auftreffen der Kathodenstrahlen auf die Haut entsteht. Zwar gibt die als Antikathode dienende Haut, die nur aus niedrigatomigem Material besteht, eine sehr weiche Sekundärstrahlung, aber ihre Energie ist nicht zu vernachlässigen, wie wir im physikalischen Teil unserer Arbeit bereits gezeigt haben. Die biologische Reaktion ist immer größer als die eigentliche Schädigung, denn von allen Seiten und aus der Tiefe werden die Scharen von Leukocyten herbeigezogen. Sie beginnt mit einer Hyperämie der Gewebe, die man deutlich nach jeder Kathodenbestrahlung beobachten kann; dann erfolgt

der Austritt von Leukocyten. In der Tiefe scheinen die aus den sekundär entstandenen Röntgenstrahlen gebildeten Elektronen durch Zerreißung des Muskelgewebes ihre deletäre Wirkung auszuüben, wie wir sie bei den mit Röntgenstrahlen bestrahlten Präparaten sehen konnten. Diese Zerreißungen gehen jedesmal mit einer Blutung einher.

Da wir bei den Baenschschen Versuchsanordnungen von 95 kV. 2 mA. und 5 cm Abstand nur noch ein schwaches Aufleuchten des Ketonschirms konstatieren konnten, war es wichtig zu erfahren, ob ein nennenswerter Unterschied in der biologischen Wirkung makro- oder mikroskopisch zu bemerken war, wenn wir einmal mit Röntgen-, das andere Mal mit Kathoden- und Röntgenstrahlen die Tiere bestrahlten. Wir machten diese Versuche genau so wie die bereits oben angegebenen und bestrahlten mehrere Hautfelder ein- und desselben Tieres, da wir ja gleiche biologische Reaktion voraussetzen mußten. Wir bestrahlten, um unsere Werte denen von Baensch anzugleichen, jedes Feld 3 Min. bei 95 kV. und 2 mA., und zwar gaben wir links 2 Felder Kathoden- und Röntgen- und rechts symmetrisch dazu nur Röntgenstrahlen. Nach unserer Berechnung kam dann auf jedes Feld ohne Kathodenstrahlen etwa 7000 R. einer weichen Röntgenstrahlung.

Nach der Bestrahlung trat keine sichtbare Bräunung der Haut ein; auch von einer Infiltration war nichts zu fühlen. Nach 9 Tagen schilferte die Haut beiderseits und näßte etwas. Das Tier hatte die Bestrahlung gut überstanden und fraß wie gewöhnlich.

Die Hautmuskelstücke wurden nach 6 und nach 14 Tagen herausgenommen, und zwar so, daß jedesmal ein Röntgen- und ein Kathoden- + Röntgenfeld exzidiert wurde.

War makroskopisch schon kein Unterschied der Bestrahlungsfelder zu sehen, so konnte auch mikroskopisch nicht der geringste Unterschied nach 6 und nach 14 Tagen konstatiert werden, wie die Bilder 27 u. 28 zeigen. An dem Hautfeld, das nur Röntgenstrahlen erhalten hatte und nach 14 Tagen exzidiert wurde, war mikroskopisch eine starke Infiltration dicht unter der Haut zu sehen, welche die Epidermis durchbrach. Das mit Röntgen- und Kathodenstrahlen bestrahlte Präparat zeigte dies nicht, wahrscheinlich wurde aber bei diesem die Stelle nicht getroffen, die sich makroskopisch wie die andere verhielt. Jedenfalls liegt kein Grund vor, anzunehmen, daß die Röntgenstrahlen allein eine größere Wirkung entfacht hätten als die Röntgen- und Kathodenstrahlen zusammen.

Selbst wenn wir die Unempfindlichkeit der Meerschweinchenrückenhaut abstrahieren — die Bauchhaut ist feiner und scheint empfindlicher zu sein -, können wir nicht umhin, anzunehmen, daß die größte biologische Reaktion, die Baensch bei seinen therapeutischen Bestrahlungen

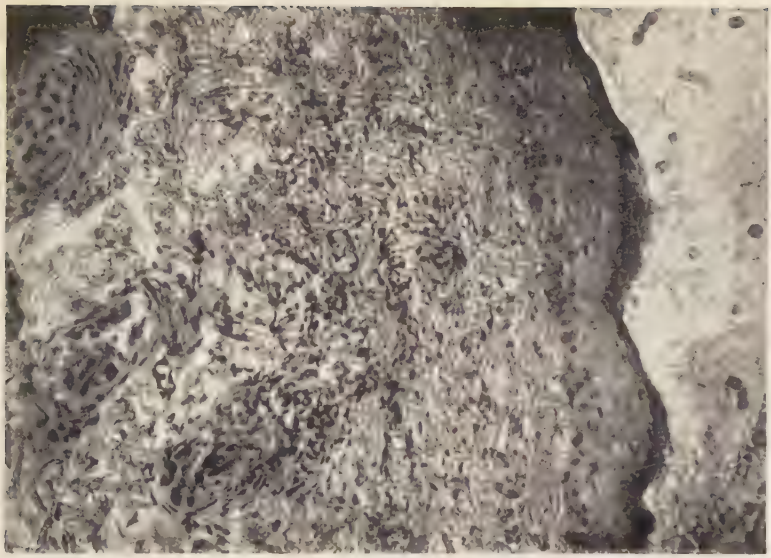

Bild 27.

95 kV., 2 mA., 5 cm Abstand mit Röntgenstrahlen bestrahlt. Nach 6 Tagen. Deutliche Infiltration des Unterhautbindegewebes.

Bild 28.

95 kV., 2 mA., 5 cm Abstand mit Kathoden- und Röntgenstrahlen bestrahlt. Nach 6 Tagen. Auch hier deutliche Infiltration des Unterhautbindegewebes, die aber nicht mehr als in Bild 27 erscheint.

aufweisen konnte, nicht der Kathodenstrahlung, sondern vielmehr den ungeheuer großen Dosen von sehr weichen, den Buckystrahlen ähnlichen Röntgenstrahlen zuzuschreiben ist.

β) Versuche an Fröschen. Es interessierte uns noch die Frage, welche Wirkung die Kathoden- und Röntgenstrahlen auf die Gefäße ausüben, Wir untersuchten dies an der Schwimmhaut der Frösche, an denen man sehr deutlich das Blut in den Gefäßen beobachten kann. Die Tiere wurden mit Morph.-Atropin narkotisiert und auf einem Brettchen aufgespannt. Ein Tier behielten wir als Kontrolle, um etwaige Veränderungen an den Gefäßen, die ohne Bestrahlung vor sich gingen, festzustellen. Es zeigte sich aber an den unbestrahlten Schwimmhäuten nichts Auffälliges.

Bei den Bestrahlungen von Schwimmhäuten, die wir mit Kathodenstrahlen bis zu 20 Min. vornahmen, zeigte sich zunächst eine Verklumpung der Erythrocyten, die dem Blutstrom hinderlich waren. Große Teile der Gefäße verstopften sich, aber zunächst noch nicht so stark, daß der Strom vollkommen unterbunden wurde. Die Klumpen bewegten sich rhythmisch hin und her und verließen nicht mehr ihre eingenommene Lage, sie waren sichtlich locker an den Gefäßwänden „festgeklebt". Bestrahlten wir noch länger, so kam es zur vollständigen Stase.

Während die einzelnen Formen der Erythrocyten kurz nach der Bestrahlung im großen und ganzen sichtbar waren, verklumpten sie allmählich immer mehr: am nächsten und übernächsten Tage nach der Bestrahlung war nichts mehr von einzelnen Erythrocyten zu sehen, sie waren eine große rote Masse geworden. Ein Austritt von Erythrocyten oder Leukocyten konnte in keinem Präparat festgestellt werden.

Eine ähnliche Wirkung übten die Röntgenstrahlen aus. Wir bestrahlten die Schwimmhäute bei 150 kV. und 2 mA. bis zu 26 Min. bei einem Abstand von 2 cm von der Röhre mit Kartonfilter. Es wurden demnach rund 3 Mill. R. verabfolgt. Auch hier kam es zur Verklumpung der Erythrocyten wie bei den mit Kathodenstrahlen bestrahlten Tieren, nur war die Stase und die Schädigung bei weitem nicht so groß. Der Blutstrom war im ganzen bedeutend langsamer als vor der Bestrahlung.

Eine Erweiterung der Gefäße oder eine Alteration der Gefäßwandung ließ sich mikroskopisch nicht einwandfrei feststellen. Der beschriebene Zustand hielt nach 2 Tagen Beobachtungszeit unverändert an. Eine weitere Veränderung war an den Schwimmhäuten in bezug auf die Gefäße nicht eingetreten.

d) Versuche an entzündlichen Geweben.

Angeregt durch die Bestrahlungserfolge mit Kathodenstrahlen von v. Angerer und v. Redwitz untersuchten auch wir, ob wir vielleicht die Entzündungen mit Kathodenstrahlen kopieren könnten, zumal wir ja eine viel härtere Strahlung als v. Angerer hatten; im Gegensatz zur Röntgenschwachbestrahlung ist das erste Ziel der Kathodenstrahlung, das Gewebe durch Abtötung der Bakterien zu sterilisieren. Uns schien aber trotz der Erfolge von v. Angerer und v. Redwitz der Erfolg in der Praxis recht problematisch zu sein, da die Infektionen sich in der Regel tiefer als 0,1 mm unter der Haut ausbreiten. Unsere Elektronen hatten aber in größerer Tiefe als 0,1 mm bereits keine tödliche Wirkung mehr. Da die gewöhnlichen Entzündungserreger (Staphylo- und Streptokokken) bei den Tieren im allgemeinen keine Abscesse hervorrufen, so benutzten wir nach dem Vorschlag des Hygienischen Instituts Milzbrandbazillen, die wir in die Rückenhaut der Meerschweinchen einimpften. Es wurde nur die oberflächliche Haut durchritzt, niemals drang die Impflanzette tiefer ein. Da in der Regel ein längerer Zeitraum zwischen stattgehabter Infektion und therapeutischer Maßnahme besteht — die Zeit zwischen der Infektion und der Bestrahlung dauerte bei v. Redwitz und v. Angerer nicht länger als bis zu 2 Minuten —, so warteten wir einmal eine Stunde und später an anderen Objekten 6 Stunden bis zur Bestrahlung.

Es wurde genau so wie früher bei den anderen Bestrahlungen der Meerschweinchen vorgegangen, und nach sorgfältigem Abdecken jedes Feldes wurde 150 kV. und 2 mA. 10 Min. lang mit Kathodenstrahlen bestrahlt.

Wie wir es erwartet hatten, starben alle Tiere gleichzeitig, die bestrahlten wie die unbestrahlten. In den ausgeschnittenen Präparaten wurden bei allen Milzbrand nachgewiesen. Auch die anderen Tiere, welchen das Sekret der Impfstelle überimpft worden war, gingen an Milzbrandsepsis zugrunde.

Wenn v. Angerer und v. Redwitz bei ihren Versuchen im Gegensatz zu uns Erfolge zu verzeichnen hatten, so sind u. E. dafür zwei Gründe anzuführen: einmal bestrahlten sie ganz kurz nach der Impfung (oft schon nach 10 Sek.), so daß man annehmen kann, daß die Bakterien noch nicht in die Tiefe eingedrungen waren; dann aber scheinen sie die Bakterien nur ganz oberflächlich auf die Haut gebracht zu haben, denn sie kratzten nur die oberste Epithelschicht ab. Sie selbst stellten an Eitertropfen die Tiefenwirkung ihrer Kathodenstrahlen fest und fanden, daß sie nicht mehr als 0,1 mm Eindringungstiefe aufwiesen. Daher

muß also die Impfung so oberflächlich gewesen sein, daß die Kathodenstrahlen die Bakterien, welche noch nicht in die Umgebung und in die Tiefe eingedrungen waren, abtöten konnten.

Anders lag es bei uns. Die Bakterien konnten in der Zeit zwischen Impfung und Bestrahlung längst in die Umgebung fortgeschleppt werden. Dann aber gingen die Kathodenstrahlen sicherlich auch nicht so tief ins Gewebe, wie wir die Bakterien gebracht hatten, obgleich die Strahlen in die Wundwinkel, die nach außen etwas klafften, bis in die tiefste Stelle der Impfung eindringen konnten.

Auf Grund unserer Untersuchungen kommen wir zum Schluß, daß eine Wirkung reiner Kathodenstrahlung, die ja auf Abtötung der Bakterien hinzielt, mit den jetzigen Röhren nur für äußerste Oberflächenentzündung in Betracht kommt, wie z. B. bei der Cornea des Auges, bei der der therapeutische Erfolg bei v. Angerer und v. Redwitz ein guter war; aber dies scheint nach den Erfahrungen von Baensch nicht ungefährlich zu sein, da er nach Bestrahlungen des Auges mit Kathodenstrahlen Erblindungen auftreten sah.

e) Untersuchungen über lokale und allgemeine Schädigung der Gewebe durch Kathodenstrahlung.

Schon früher wurde von Pauli und Hartmann darauf aufmerksam gemacht, daß es außer der lokalen Schädigung der Gewebe durch Kathodenstrahlen noch eine Allgemeinschädigung gibt. So nahmen bestrahlte Tritonen kein Futter mehr an und starben bald darauf. Auch Baensch weist wieder jüngst darauf hin, daß nach hohen Dosierungen (95 kV. 2—5 Min.) die Versuchstiere „selbst nach circumscripten, eng begrenzten Bestrahlungsfeldern unter Abdeckung des übrigen Körpers einige Tage nach der Bestrahlung" zugrunde gingen. Um was für eine Art von Versuchstieren es sich handelte, wurde leider nicht mitgeteilt.

Auch wir glaubten die interessante Frage der Allgemeinschädigung um so mehr untersuchen zu müssen, da bis jetzt eine eigentliche Todesursache nach der Bestrahlung nicht festgestellt werden konnte. An einem Tier konnte Baensch allerdings das typische Bild einer Lebercirrhose feststellen, und Pauli und Hartmann konnten bei einem Triton eine ganz abnorme Blutleere der inneren Organe, bei einem anderen eine starke Hyperämie des Darmtraktus und der Leber sehen, aber sonst nichts, was auf die Todesursache hätte hinweisen können.

Wir bestrahlten ein Meerschweinchen bis zu 20 Min. mit Kathodenstrahlen am Bein und glaubten hiermit eine hinreichende Schädigung zu setzen; aber die Freßlust des Tieres war nach der Bestrahlung genau

so groß wie vorher, und nichts äußerte sich in seinem Wesen, was auf eine Strahlenschädigung hindeuten konnte.

Da Baensch an einem Tiere eine Lebercirrhose fand, bestrahlten wir noch die Leber desselben Tieres außer den Kathodenstrahlen mit Röntgenstrahlen vom Rücken her (150 kV., 2 mA., 10 Min. 2 cm Abstand senkrecht vom Fenster; Kartonfilter). Verabfolgt wurden rund 1 Mill. R. (Bild 29). Es stellte sich bald eine Rötung und Schwellung der Haut am Rücken ein. Man fühlte deutlich die durch die Röntgenstrahlen gesetzte Infiltration, die bretthart wurde. Obgleich das Tier durch Blei gut abgedeckt war, war die biologische Reaktion wohl infolge der Rückstreuung bedeutend größer als die Größe des bestrahlten Feldes. Sie reichte etwa 1 cm weiter im Umfang, als wir bestrahlt hatten. Das

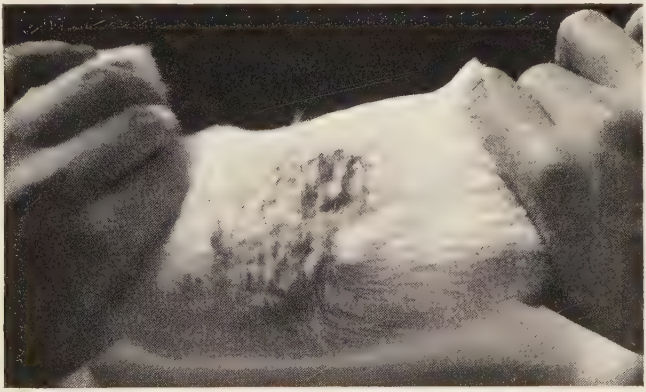

Bild 29.
Bestrahlte Rückenhaut mit 1 Mill. Röntgenstrahlen.
3 Wochen nach der Bestrahlung.

Tier saß still, hielt den Rücken eingesunken, fraß aber wie gewöhnlich. Nach 3 Wochen hatten sich an den Rändern des Bestrahlungsfeldes grau-braune Krusten gebildet, die allmählich abfielen. In der 4. Woche begann der Prozeß zu heilen.

Beim Abtasten fühlte man ganz deutlich die Infiltration nicht weiter als bis zu den Rückenmuskeln. Man hätte gut die „ganze Platte" vom Rücken abheben können. Die Sektion, welche nach der Tötung des Tieres mit Äther vorgenommen wurde, bestätigte dann auch unsere Vermutung insofern, als die Infiltration nicht weiter als bis zur allgemeinen Körperfascie gedrungen war. Es fand sich eine etwa 5 mm dicke Schwarte, die am Rande im Abheilen begriffen war. An den inneren Organen, speziell an der Leber, war nichts Pathologisches zu erkennen.

Es bleibt daher immer noch die Frage offen, woran die Tritonen und die Tiere von Baensch gestorben sind. Vielleicht aber läßt sich die Antwort eher finden, wenn wir die Tierart berücksichtigen, welche Pauli und Hartmann bei ihren Versuchen benutzt hatten. Die Tritonen atmen bekanntlich zu einem großen Teile durch die Haut. Sollten die Tiere nicht vielleicht infolge der großen Hautschädigung gestorben sein? Die Frage, ob die Hautschädigung so groß war, daß die Tritonen davon eingingen, läßt sich nachträglich natürlich schwerlich beantworten. Wenn aber die Rückenhaut bei einem Tiere, wie angegeben wurde, völlig abgelöst war, so bedeutet dieser Verlust immerhin eine so große Schädigung, daß der Tod dieses Tieres wohl hierdurch eingetreten sein konnte.

Wie es aber bei dem einen Tiere von Baensch zur Lebercirrhose kam, können wir uns nicht erklären. Wir nahmen anfangs Stoffwechselprodukte an, die durch die Bestrahlung ausgelöst wurden, und bestrahlten zur Beantwortung dieser Frage Hühnereiweiß mit Kathoden- und Röntgenstrahlen, das sofort nach ganz kurzer Bestrahlung eine gallertartige Form annahm. Es hatte also eine chemische Veränderung stattgefunden. Der Geruch war ein ganz penetranter. Hätten nun giftige Stoffwechselprodukte sich durch die Bestrahlung gebildet, so hätten die Mäuse, denen wir 1 ccm von diesem Eiweiß unter die Haut spritzten, davon eingehen müssen. Dies war aber nicht der Fall. Das Eiweiß war in ein paar Tagen vollkommen resorbiert, und die Mäuse waren so gesund wie vorher.

Wir konnten also eine Allgemeinwirkung von Kathodenstrahlen, die zum Tode führt, nicht feststellen. Ob vielleicht bei Baensch die Wirkung der sehr großen Röntgendosen, die er bei der Bestrahlung gab, die Ursache des Todes waren, ist immerhin möglich, läßt sich aber definitiv nicht entscheiden.

Auch die Mumifizierung der Haut, die bei Baensch nach großen Dosen Kathodenstrahlen auftrat, konnten wir bei der längsten Bestrahlung mit Kathodenstrahlen (bis zu 20 Min. bei 150 kV., 2 mA.) nie feststellen. Wohl aber trat regelmäßig eine Combustio ein, die sich später in einer Mumifizierung äußerte, wenn wir das Tier mit Kathoden- und Röntgenstrahlen 4 Min. in 1 cm Abstand vom Fenster bestrahlten. Schon am nächsten Tage war die bestrahlte Haut gebräunt und infiltriert, und nach 6 Tagen war sie schwärzlich und zu einer harten Kruste verwandelt, die ganz langsam erst nach mehreren Wochen abheilte.

Wir sind daher der Meinung, daß die Mumifizierung, wie wir sie erhielten, zum mindesten zu einem sehr großen Teil auf Röntgenstrahlung zurückzuführen ist, wie wir ähnlich bei dem Meerschweinchen sahen,

welches wir 10 Minuten lang mit Röntgenstrahlen bestrahlt hatten. Hier war nur die Bestrahlung noch intensiver gewesen. Daß Baensch eine solche Reaktion mit der geringen Menge Kathodenstrahlen (bei 95 kV. und 5 cm Abstand vom Fenster) erhält, halten wir bei der ziemlich unempfindlichen Haut der Meerschweinchen für völlig ausgeschlossen. Es kommt hierfür lediglich die weiche Röntgenstrahlung in Frage, die das Rohr außer den Kathodenstrahlen gibt.

C. Schluß.

1. Zum ersten Mal lenkten wir die Kathodenstrahlen von den Röntgenstrahlen zu biologischen Versuchen mit dem Magneten ab, um die Wirkung der Kathodenstrahlen von den Röntgenstrahlen zu unterscheiden; bisher wurde immer nur mit Strahlengemischen von Röntgenstrahlen und Kathodenstrahlen gearbeitet, die eine eindeutige Klärung der Frage, ob die Kathodenstrahlen zur Therapie praktisch geeignet sind, unserer Meinung nach nicht bringen konnten.

2. Wir stellten bei unseren Versuchen mit einer Lenardröhre (Phönixwerke) fest, daß aus dem Fenster der Röhre sehr große Mengen von einem Gemisch weichster (Bucky) und harter Röntgenstrahlen heraustreten, so daß man mit unserer Röhre bei 95 kV. und 2 mA. in 5 cm Abstand senkrecht vom Fenster bei Kartonfilterung (Abblenden der Kathodenstrahlung) in 13 Sek. 500 R erhält (Baensch), bei 150 kV., 2 mA., 5 cm Abstand 500 R in 5 Sek.

3. Wir fanden ferner, daß die Kathodenstrahlen bei 150 kV. nicht tiefer als 0,1 mm ins Gewebe dringen. Die von diesen Strahlen ausgehende biologische Reaktion, welche in einer Auswanderung von Leukocyten besteht, ist jedoch größer als die eigentliche Wirkung der Kathodenstrahlen; da die Haut bei einer solchen Bestrahlung als Antikathode dient, so entstehen sekundäre Elektronen, welche in größerer Tiefe ihre Wirkung ausüben.

4. Wie andere Autoren konnten auch wir mit Kathodenstrahlen Bakterien abtöten.

5. Eine therapeutische Wirkung auf infiziertes Gewebe üben die Kathodenstrahlen im allgemeinen nicht aus, da sie mit unseren Röhren nur bis zu einer Tiefe von 0,1 mm die Bakterien abtöten.

6. Es wurde an Pflanzen und an tierischem Gewebe die Wirkung der Kathodenstrahlen untersucht und gefunden, daß sie in demselben Sinne wirken wie die Röntgenstrahlen.

7. Die therapeutischen Erfolge, die Baensch bei Lupus und Hauttuberkulose sowie bei Hautcarcinomen mit den Kathodenstrahlen zu verzeichnen hat, beruhen auf der Wirkung des sehr weichen Röntgen-

strahlengemisches, von dem ein großer Teil mindestens so weich ist wie die Buckyschen Grenzstrahlen.

8. Die Phönixröhre gibt mithin zwei Strahlensorten, einmal die Kathodenstrahlen, die nur oberflächlich wirken, und dann ein Gemisch von Röntgenstrahlen von der weichsten bis zu der harten Art.

9. Die Kathodenstrahlen kommen infolge ihrer geringen Eindringungstiefe nur für ganz oberflächliche Therapie in Frage. Infolgedessen kann ihre therapeutische Anwendung nur eine sehr beschränkte sein. Da die Ablenkung der Kathodenstrahlen von den aus der Röhre kommenden Röntgenstrahlen außerdem noch mit technischen Schwierigkeiten verknüpft ist, so bedienen wir uns lieber der lang erprobten Röntgenstrahlen und nützen ihre sekundäre Elektronenwirkung an Ort und Stelle aus.

Literatur.

1. Pauli u. Hartmann, Über die Wirkung von Kathodenstrahlen auf lebendes Gewebe. Arch. f. mikr. Anat. 1924, 103, S. 95—167. — 2. Pauli u. Grober, Untersuchungen über die biologische Wirkung der Kathodenstrahlen. D.m.W. 1919, Nr. 31, S. 841—844. — 3. v. Angerer, Pauli, v. Redwitz, Über die Wirkung von Kathodenstrahlen auf Bakterien in vitro und in frischen Wunden. D. Zschr. f. Chir. 1925, 193, S. 330—342. — 4. Küstner, Die Dosierung der Buckyschen Grenzstrahlen und R-Einheiten mit dem Eichstandgerät. Strahlenther. 1928, 27, S. 125—145. — 5. Baensch u. Finsterbusch, Unsere klinischen Erfahrungen mit der therapeutischen Anwendung von Kathodenstrahlung. M.m.W. 1927, Nr. 51, S. 2171. — 6. Dieselben, Weitere klinische Beobachtungen bei der Behandlung mit Kathodenstrahlen. Kl.W. 1928, Nr. 15, S. 681—683. — 7. W. Schaefer, Die Wirkung der Röntgenstrahlen bei bakteriellen Entzündungen. Arch. f. klin. Chir. 1927, 196, S. 394—402.

Lebenslauf.

Ich, Ernst Witte, wurde am 9. VII. 1902 als Sohn des Bahnmeisters Friedrich Witte und seiner Ehefrau, Auguste geb. Dettmar, geboren. Mein Geburtsort ist Dorum (Reg.-Bez. Stade). — Am 1. V. 1905 verzogen meine Eltern nach Ahlen (Westf.). Von Ostern 1908 ab besuchte ich dort die Elementarschule und später das Realgymnasium, wo ich im Herbst 1922 die Reifeprüfung ablegte. — Anschließend bezog ich die Universität Göttingen. Im vierten Semester war ich in Kiel, im fünften Semester in Münster immatrikuliert. Von dort kehrte ich wieder zur Universität Göttingen zurück. — Als Studienfächer hatte ich Physik, Chemie und Mathematik belegt. — Meine Universitätslehrer waren die Professoren: Pohl, Gudden, Frank, Reich, Zahn, Tammann, Zigmondy, Windaus, Wiechert, Courant, Runge, Walther, Ach, Nohl. — Ihnen allen bin ich zu großem Dank verpflichtet.